THÈSE

présentée

A LA FACULTÉ
DES LETTRES ET SCIENCES HUMAINES
DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

pour obtenir

LE TITRE DE DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

par

Monsieur J. Rennard DEAN

THÈSE :

L'EXPLOITATION DES GISEMENTS PÉTROLIERS DU BASSIN DE LA MER DU NORD.

Soutenue le 13 mars 1967 devant le Jury :

M. DESPOIS PRÉSIDENT
M. GUILCHER RAPPORTEUR
M. PINCHEMEL

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41534910_0036

UNIVERSITÉ DE PARIS

L'EXPLOITATION DES GISEMENTS PÉTROLIERS DU BASSIN DE LA MER DU NORD

THÈSE

de

Monsieur J. Rennard DEAN

Janvier 1967

Société Nouvelle de l'
Imprimerie Nationale de Monaco - 1968

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

THÈSE

présentée

A LA FACULTÉ
DES LETTRES ET SCIENCES HUMAINES
DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

pour obtenir

LE TITRE DE DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

par

Monsieur J. Rennard DEAN

THÈSE :

L'EXPLOITATION DES GISEMENTS PÉTROLIERS DU BASSIN DE LA MER DU NORD.

Soutenue le 13 mars 1967 devant le Jury :

M. DESPOIS PRÉSIDENT
M. GUILCHER RAPPORTEUR
M. PINCHEMEL

Droits Réservés
Centre Scientifique de Monaco
M. Rennard DEAN - GENÈVE - SUISSE

SOMMAIRE

		Pages
	Avant-Propos	7
	Introduction	9
I.	Le Bassin et son Hydrographie	11
II.	Géologie	17
III.	Sédimentologie	33
IV.	Le Forage en mer du Nord	37
V.	La Recherche océanographique et le forage en mer	47
VI.	La Canalisation et la Pose de Conduites immergées	55
VII.	La Question Juridique	61
VIII.	Les Concessions	67
IX.	Le Stockage de Gaz	69
X.	Influence des Ressources en Hydrocarbures de la mer du Nord sur l'économie du Nord-Ouest de l'Europe	75
XI.	Les Perspectives	83
	Appendice	87
	Liste des Références	93
	Liste des Périodiques	95
	Le Visa et le Permis d'Imprimer	97
	Table des Figures	99

AVANT-PROPOS

Lors de la parution de cette thèse je tiens tout particulièrement à rendre hommage à mon Rapporteur, Monsieur André Guilcher, Professeur à la Sorbonne, et à lui exprimer toute ma gratitude pour son acceptation du sujet de thèse que je lui avais proposé et pour le soutien qu'il n'a cessé de m'apporter pendant de longues années consacrées aux recherches sur le terrain et au laboratoire. Qu'il veuille bien trouver ici l'expression de ma respectueuse reconnaissance.

Simultanément je voudrais remercier très vivement les trois membres du Jury : MM. les Professeurs Despois, Guilcher et Pinchemel, éminents géographes à l'Université de Paris, pour avoir examiner si minutieusement le contenu intégral de mon ouvrage. Je suis heureux de leur exprimer ici ma profonde gratitude.

S'il fallait préciser le point culminant de mes recherches, je signalerais mon séjour aux Pays-Bas où, suivant les précieux conseils de mon Rapporteur, j'ai eu le privilège de travailler à l'Institut de Géologie de l'Université de Groningue sous la direction de M. le Professeur Ph. Kuenen. Nul ne doute de la suprematie de l'Université de Groningue en ce qui concerne l'étude des gisements pétroliers du bassin de la mer du Nord.

L'ensemble du personnel du Centre de Recherches Géodynamiques de Thonon-les-Bains (Université de Paris) ainsi que celui de la Station Zoologique de Villefranche-sur-Mer (Université de Paris) ne m'ont pas ménagé leur aide tout au long de la réalisation matérielle de ce travail. Que chacun trouve ici l'expression de ma chaleureuse reconnaissance.

Je suis très redevable à S.A.S. le Prince de MONACO, Président de la Commission Internationale pour l'Exploration Scientifique de la Mer Méditerranée et au Centre Scientifique de Monaco pour avoir accepter d'entreprendre l'impression de cette thèse de Doctorat. Je leur exprime toute ma gratitude.

Verba volant, scripta manent.

INTRODUCTION

Il est rare que la découverte de nouvelles régions riches en ressources naturelles suscite autant d'enthousiasme et d'intérêt de la part du grand public que celle du pétrole et du gaz situés dans le bassin de la mer du Nord. Ce fait est d'autant plus frappant lorsque nous nous rendons compte qu'il s'agit d'une réussite à une époque appelée « nucléaire » et que ce pétrole et ce gaz peuvent encore faire concurrence à l'énergie atomique. Ne pouvons-nous constater ici une certaine inversion des priorités primitivement accordées aux industries atomiques et pétrolières? Tout au moins, nous pouvons conclure que le progrès en ce qui concerne la construction de réacteurs atomiques n'est guère aussi rapide que nous aurions pu l'espérer, car plus de dix ans se sont écoulés depuis la démonstration publique de ces réacteurs lors de la première conférence atomique à Genève.

Cependant, depuis plus de cinquante ans, on a pu constater dans les pays les plus développés une transformation en ce qui concerne l'usage des carburants dans l'industrie. Naguère basées sur le charbon, les grandes entreprises se sont décidées à profiter des avantages offerts par le pétrole en adaptant leur équipement et en même temps en assurant un meilleur rendement à leurs installations industrielles.

A la suite de la découverte de gisements de pétrole ou de gaz naturel dans les bassins sédimentaires de plusieurs régions du monde, les compagnies pétrolières n'ont pas tardé à poursuivre leurs travaux de forage au-dessous du plateau continental, les bassins sédimentaires se prolongeant sous ce dernier. Dès 1959, à la suite de la découverte de gisements pétroliers et gazeux très importants aux Pays-Bas, les ingénieurs, en collaboration avec les géophysiciens et les océanographes, se sont tournés vers l'exploration du bassin sédimentaire de la mer du Nord. Les techniques utilisées et les résultats obtenus au cours de ces explorations font l'objet de cette thèse.

A l'heure actuelle, les travaux de forage ne se déroulent que dans trois des sept secteurs du bassin de la mer du Nord, à savoir : les secteurs appartenant à l'Allemagne, à la Grande-Bretagne et à la Norvège. Cette explication s'impose afin de justifier la prépondérance dans ce texte de données scientifiques se rapportant surtout aux trois secteurs en question. Cependant le sondage mécanique de contrôle reste le seul moyen

de déceler définitivement l'existence de gisements pétroliers. Par conséquent nous aurons bientôt les résultats de ces sondages pour approximativement la moitié du bassin.

A l'avant garde de toutes les études qui précèdent les opérations de forage en mer, nous ne saurons exagérer l'importance de la question juridique, ainsi qu'elle est formulée dans la Convention sur le plateau continental (1958). Également d'une importance exceptionnelle est la recherche océanographique qui fait l'objet d'une mention spéciale à l'article 5 de ladite Convention :

> « L'exploration du plateau continental et l'exploitation de ses ressources naturelles ne doivent pas avoir pour effet de gêner d'une manière injustifiable la navigation, la pêche ou la conservation des ressources biologiques de la mer, ni de gêner les recherches océanographiques fondamentales ou les autres recherches scientifiques effectuées avec l'intention d'en publier les résultats. »

A notre connaissance, c'est la première fois que la question de la recherche océanographique figure dans une Convention des Nations Unies. Pourtant l'océanographie figure au premier plan dans certains traités internationaux, notamment dans le Traité antarctique adopté à la suite de longues et difficiles négociations et signé par les douze pays intéressés.

A l'avenir, c'est aussi la question juridique qui aura une importance primordiale, car selon la Convention de Genève de 1958, l'expression « plateau continental » est utilisée pour désigner :

> « ...le lit de la mer et le sous-sol des régions sous-marines adjacentes aux côtes, mais situées en dehors de la mer territoriale, jusqu'à une profondeur de 200 m ou, au-delà de cette limite, jusqu'au point où la profondeur des eaux surjacentes permet l'exploitation des ressources naturelles des dites régions. »

Comme les techniques d'exploitation font actuellement des progrès considérables, la limite juridique du plateau continental se trouve du même coup repoussée de plus en plus loin vers la haute mer. Sur la base de ces critères, le plateau continental de l'ensemble des mers du globe est estimé à 10 millions de km^2 et les réserves pétrolières qu'il contient à 50 milliards de tonnes.

I. — LE BASSIN ET SON HYDROGRAPHIE

Le bassin de la mer du Nord, ayant une superficie de 552.500 km², fait partie du plateau continental européen qui est particulièrement large autour des îles Britanniques. Son extension septentrionale va jusqu'au 62e parallèle, où la profondeur ne dépasse 200 m que bien au nord des îles Shetland. L'un des traits topographiques saillants de la carte bathymétrique de la mer du Nord est la fosse de Norvège (profondeur maximale 800 m) qui borde sur toute leur longueur les côtes ouest et sud et allant jusqu'à la mer de Norvège dans le nord. Cette fosse (17) a plutôt les caractéristiques d'un graben, mais les nombreuses hypothèses émises à propos de son origine ne seront vérifiées qu'après la publication des résultats des levés géophysiques effectués récemment dans la région (fig. 1).

A l'exception de ce profond sillon parallèle à la côte norvégienne, la moyenne des profondeurs est de 40 m dans la partie méridionale de la mer du Nord au large de la côte hollandaise et surtout dans la région du Dogger Bank; puis la profondeur moyenne croît graduellement pour atteindre 200 m à l'extrême-nord du bassin. Outre la fosse de Norvège, il se trouve dans le bassin plusieurs vallées ou dépressions surtout dans les parties nord et centrale, où la profondeur est le double de la moyenne et dont les caractéristiques sont connues depuis des siècles grâce aux pêcheurs de la région. Il s'agit, entre autres, du Silver Pit, du Devil's Hole et du Coal Pit, qui sont tous les trois (d'après VALENTIN) des cañons d'origine glaciaire nommés *Rinnentäler*.

Parmi les traits topographiques sous-marins les plus saillants du bassin de la mer du Nord, il faut signaler tout spécialement le Dogger Bank. On ne saurait trop insister sur son importance pour les migrations saisonnières de certaines espèces de poissons, notamment le hareng (15). Il est long de 300 km et large de 120 km au niveau de l'isobathe de 40 m. VALENTIN (32) pense que le Dogger Bank n'a pas été envahi par la glace au cours de la dernière glaciation, il y a plus de 10 000 ans. A la fin des temps carbonifères, le centre du bassin était probablement recouvert de forêt et de marécages, car il n'est pas rare que les pêcheurs du Dogger Bank prennent dans leurs filets des débris qui témoignent de l'existence d'animaux terrestres. Au cours de l'ère cénozoïque ou tertiaire, des sédiments épais se sont déposés dans le bassin : au Danemark, par

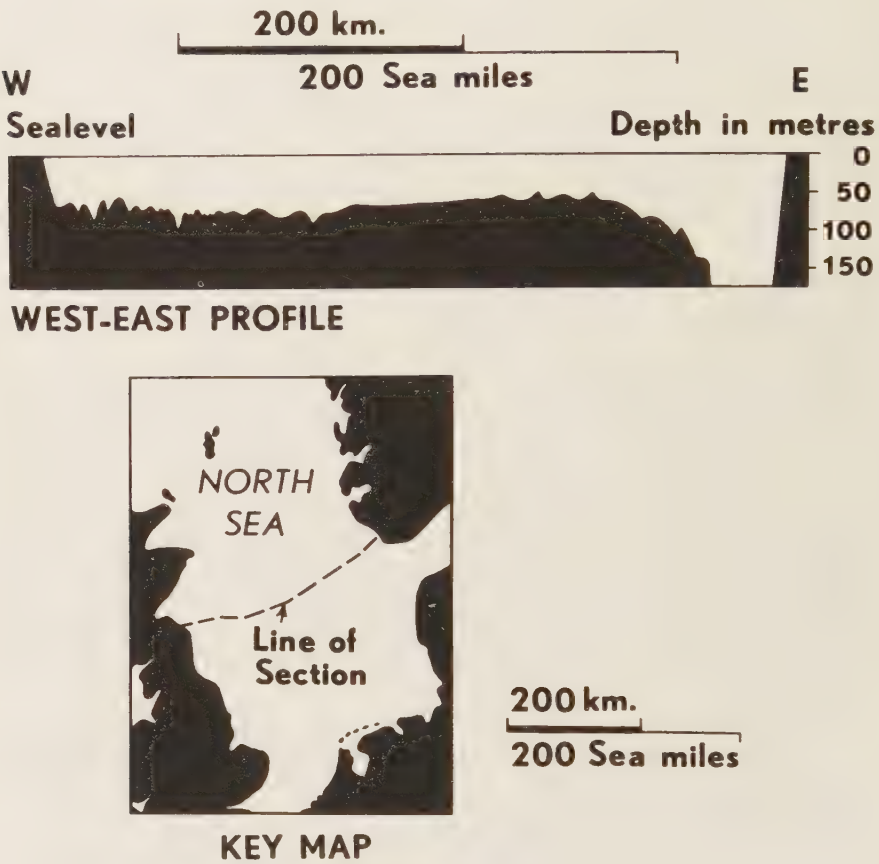

FIG. 1. — *Profil bathymétrique de la mer du Nord* (d'après Brouwer).

exemple, plus de 2 000 m de matériaux se sont accumulés pendant cette période.

D'autre part, des bandes de sable (30) existent à la surface du lit du bassin, en particulier au large des côtes du Norfolk (Angleterre) et de celles des Pays-Bas. Ces bandes peuvent atteindre 60 km de longueur et 40 m de hauteur et sont parallèles aux courants de fond. Elles ont été baptisées Smith's Knoll, Ower Bank, Leeman Bank, etc., par les marins. Leur origine, encore douteuse, semble liée aux *Rinnentaler* mentionnés précédemment. D'après nos connaissances, les bandes les plus développées sont stationnaires; du reste, elles sont déjà indiquées d'une façon très claire sur les anciennes cartes bathymétriques du XVII[e] siècle, notamment sur les cartes néerlandaises. En ce qui concerne les forages en mer et l'installation de plate-formes, il a été nécessaire d'étudier en détail ces bandes de sable, car il est arrivé que

FIG. 2. — *Courants moyens de surface dans la mer du Nord.* (*d'après Jarke* 1961)

des plateformes auto-élévatrices se déplacent inopinément en raison des mouvements graduels du sable. Ces mêmes mouvements peuvent aussi provoquer la rupture de câbles et de pipe-lines sous-marins. La figure 2 montre les courants moyens de surface dans la mer du Nord.

LA MARÉE

Trois ondes de marée entrent dans le bassin de la mer du Nord, la première par la Manche, la deuxième le long de la côte de l'Écosse et la troisième le long de la côte de Norvège. L'interaction de ces trois ondes est donc complexe. Exceptionnellement, la hauteur de la marée dans le bassin peut atteindre 6 m, mais elle est inférieure à 1 m dans le grand port de Rotterdam (Europort). C'est là une des raisons pour lesquelles ce port hollandais est devenu le premier d'Europe, tant pour le volume de son commerce que pour le tonnage des navires qui l'utilisent en tout temps. La carte (fig. 3) montre deux points d'amphidro-

Aberdeen
Flamborough Head
Great Yarmouth
Hook van Holland
Antwerpen
Emden
Bremen
Hamburg
Esbjerg
Helgoland
Wilhelmshaven
Cuxhaven
Brunsbüttel
Borkum
Terschelling
Vlieland
Texel
Den Helder
Ijmuiden
Scheveningen
Vlissingen
Zeebrugge
Ostende
Dunkerque
Calais
Boulogne
Le Havre
Cherbourg
Guernsey
Jersey
Portland
Plymouth
Falmouth
Land's End
Bristol
Cardiff
Liverpool
Preston
Barrow
Workington
Belfast
Dublin
Wicklow Head
Arklow
Rosslare
Tramore
Youghal
Cork
Kinsale
Queenstown
Valentia
Galway
Blacksod Bay
Erris Head
Malin Head
Inishtrahull
Rathlin Island
Portrush
Larne
Donaghadee
Portpatrick
Stranraer
Ayr
Girvan
Ardrossan
Greenock
Oban
Tobermory
Ardnamurchan
Mallaig
Kyle of Lochalsh
Stornoway
Lerwick
Sumburgh Head
Kirkwall
Wick
Pentland Firth
Cromarty
Inverness
Fraserburgh
Peterhead
Montrose
Arbroath
Dundee
Tay Bridge
Firth of Forth
Leith
Edinburgh
Berwick
Tynemouth
Sunderland
Hartlepool
Whitby
Scarborough
Bridlington
Hull
Grimsby
Boston
Wash
Lowestoft
Harwich
Sheerness
Margate
Ramsgate
Dover
Folkestone
Hastings
Newhaven
Brighton
Portsmouth
Southampton
Poole
Weymouth
Exeter
Ilfracombe
Minehead
Swansea
Milford Haven
Fishguard
Aberystwyth
Barmouth
Holyhead
Llandudno
Douglas
Port Erin
Port St Mary
Peel
Ramsey
Port Ellen
Campbeltown
Islay
Mull
Coll
Tiree
Barra
Lewis
Harris
North Uist
South Uist
Benbecula
Skye
Rhum
Eigg
Canna
Muck
Colonsay
Jura
Scarba
Lismore
Fort William
Corpach
Kyle of Lochalsh
Ullapool
Stornoway
Tarbert
Lochmaddy
Loch Boisdale
Loch Eynort
Loch Skiport
Loch Carnan
Loch Maddy
Loch Tarbert
Loch Roag
Loch Seaforth
Loch Shiel
Loch Linnhe
Loch Etive
Loch Fyne
Loch Long
Loch Lomond
Loch Ness
Loch Lochy
Loch Oich
Loch Arkaig
Loch Morar
Loch Nevis
Loch Hourn
Loch Alsh
Loch Broom
Loch Ewe
Loch Gairloch
Loch Torridon
Loch Carron
Loch Duich
Loch Leven
Loch Creran
Loch Etive
Loch Awe
Loch Tay
Loch Earn
Loch Lubnaig
Loch Katrine
Loch Venachar
Loch Achray
Loch Voil
Loch Doine
Loch Rannoch
Loch Tummel
Loch Garry
Loch Quoich
Loch Hourn
Loch Nevis
Loch Morar
Loch Shiel
Loch Eil
Loch Linnhe
Loch Leven
Loch Creran
Loch Etive
Loch Awe

mie dans le bassin de la mer du Nord, dont un est situé près de l'embouchure du Rhin (11).

Si dans une partie du bassin de la mer du Nord (où la période d'oscillation est normalement d'environ 36 heures) une augmentation du niveau moyen de la mer due aux vents de tempête, soufflant pendant longtemps d'une même direction, est suivie soudain de vents forts soufflant d'une direction opposée — un virement de 180° — ce changement impose une oscillation sur le régime normal de la marée. Dans le cas où les maxima de ces diverses oscillations coincideront, des inondations dans les régions côtières sont à prévoir. Ce sont des ondes de tempête ou *storm surges* (26).

Le profil du lit de la mer du Nord montre la pente de celui-ci. Toute plage où la profondeur de l'eau diminue lentement provoque la formation de vagues et, par conséquent, cette pente qu'est le fond de la mer du Nord ne peut qu'augmenter la grandeur des vagues, surtout sur les rives méridionales du bassin.

LES COURANTS

Les courants de surface entrent dans le bassin par la Manche et par la grande ouverture du Nord, large de 6° de longitude, entre les Iles Shetland et la Norvège, mais l'eau n'en sort en général que par un fort courant se dirigeant vers le nord au large de la côte norvégienne (fig. 2). Telle est la circulation normale des courants de surface dans le bassin, compte non tenu des changements causés par la situation météorologique souvent très complexe.

Une région maritime où les profondeurs sont faibles, telle que la mer du Nord, fait partie d'un bloc continental constitué par tous les pays de l'Europe du nord-ouest qui sont baignés par cette même mer. L'on peut considérer un tel bloc continental comme un jardin géologique labouré pendant des millions d'années par l'érosion, suivie successivement par une période de dépôts ainsi que par une période de soulèvements, et ensuite de nouveau par l'érosion. Actuellement, le bassin de la mer du Nord est assujetti à des dépôts qui sont apportés par les grands fleuves européens, notamment le Rhin, l'Elbe et la Tamise.

II. — GÉOLOGIE

En ce qui concerne la géologie du bassin de la mer du Nord, le chercheur se heurte à de sérieuses difficultés, tant à cause de la pauvreté des données disponibles concernant la structure géologique du bassin qu'en raison de la discrétion des compagnies explorant les ressources minérales de la région.

Les travaux effectués dans deux des pays les plus actifs en matière de recherche de pétrole — les Pays-Bas et la Grande Bretagne — nous permettent néanmoins d'avoir à notre disposition des coupes transversales assez détaillées relatives à la géologie des deux côtés de ce bassin sédimentaire qu'est la mer du Nord (fig. 4). Ces travaux ont permis de connaître la nature et la composition des terrains sous-jacents. Par extrapolation, il a été possible de deviner la constitution géologique du bassin lui-même. Ainsi les immenses réserves de gaz naturel des gisements néerlandais ont laissé supposer que ces riches gisements ne s'arrêtaient pas à la mer du Nord, mais qu'ils se continuaient peut-être dans les autres pays baignés par cette mer. Une région a en effet été mise en évidence au nord-est de l'Angleterre, où la ville de Whitby, par exemple, est entièrement approvisionnée par les puits de gaz naturel d'Eskdale, non loin de la côte de Yorkshire. Plus au nord de la côte anglaise, on connaissait déjà des gisements de charbon qui prolongent les grands charbonnages de Durham et s'étendent jusque sous la mer du Nord, où l'extraction de « sea coal » est pratiquée depuis longtemps.

A la fin de l'ère carbonifère, soit il y a quelques 270 millions d'années, la zone de l'actuelle mer du Nord était vraisemblablement recouverte de forêts et de marécages (d'eau douce). Ces conditions ont probablement subsisté jusqu'au commencement du Permien, une sédimentation considérable s'effectuant de part et d'autre du bassin (2). Par la suite, vers la fin du Permien, la mer a recouvert le bassin et, en raison du climat chaud accompagné d'une forte évaporation, des dépôts de calcaire et de dolomites se sont accumulés sur la plus grande partie de la région. C'était la mer de Zechstein qui, à l'époque, s'étendait sur presque toute l'Europe du nord, si ce n'est à l'intérieur de l'Angleterre (fig. 5).

D'autres transgressions marines se sont produites au cours des ères secondaire et tertiaire, accompagnées de sédimentation de sables et

d'argiles. Graduellement, pendant l'ère tertiaire, la mer recula vers le nord de sorte que les Pays-Bas et l'Allemagne émergèrent. Selon les calculs des géologues, il y aurait plus de 3 000 m de dépôts tertiaires et quaternaires dans la région de la mer du Nord, mais cette épaisseur se réduit à zéro au large de la côte d'Angleterre.

On sait que pour effectuer la reconnaissance géologique les géologues unissent leurs efforts à ceux des géophysiciens. Comme on le sait également, ces derniers utilisent les méthodes magnétiques, gravimétriques et sismiques. Nous en rappellerons ici l'essentiel (2) :

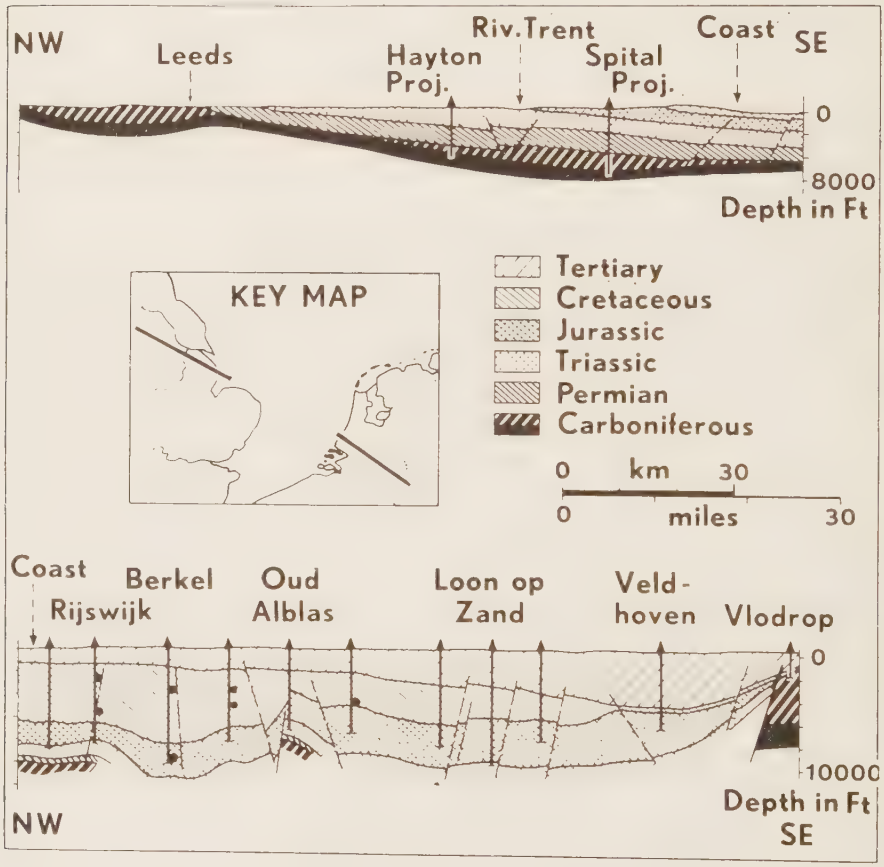

Fig. 4. — *Coupe transversale montrant la géologie de deux côtés de la mer du Nord. (d'après Brouwer).*

OBSERVATIONS MAGNÉTIQUES

L'instrument employé est le magnétomètre. Celui-ci permet de mesurer les variations du champ magnétique, fonction des masses rocheuses du soubassement inférieur aux sédiments. L'instrument est utili-

sable aussi bien sur mer que sur terre. Ainsi l'emploi d'un magnétomètre aéroporté permet d'obtenir les renseignements relatifs à quelques-uns des facteurs suivants :

a) Profondeur du soubassement cristallin.
b) Forme et structure du soubassement.
c) Épaisseur des couches sédimentaires au-dessus du soubassement.
d) Répartition des intrusions ignées.
e) Estimation de la nature et du type des roches responsables des anomalies.

L'avion utilisé pour ces observations porte le magnétomètre, soit encastré dans son empennage arrière, soit suspendu sous le fuselage par un appareil spécial.

FIG. 5. — *Carte géologique (période permienne) du bassin de la mer du Nord (d'après Cooper et Gaskell)*

OBSERVATIONS GRAVIMÉTRIQUES

Les observations gravimétriques sont obtenues par un appareil utilisé en prospection pétrolière qui s'appelle le gravimètre. Cet instrument permet d'estimer les différences de gravité causées, entre autres, par les variations de densité des roches du sous-sol. Il est utile pour mettre en évidence les masses de roche relativement légères tels les dômes de sel que l'on rencontre souvent avec les gisements pétrolifères. Comparativement aux autres sédiments qui l'entourent, le sel a un faible poids spécifique et c'est ainsi que l'on peut souvent identifier de grandes masses dans le sous-sol en interprétant les minima caractérisés sur les enregistrements gravimétriques. Les gravimètres peuvent être utilisés soit sur le fond de la mer, soit - ce qui est encore plus efficace - être installés sur un submersible. Quel que soit le mode d'utilisation choisi, les résultats ne fournissent qu'une vue d'ensemble.

OBSERVATIONS SISMIQUES

Les observations par réflexion sismique donnent des renseignements structuraux plus précis en révélant par exemple les plans de discontinuité de vitesse situés en profondeur dans le sous-sol, à la suite de séries de réflexions d'ondes de choc engendrées par l'effet de charges d'explosif mises en œuvre près de la surface de la mer. L'avantage de la méthode sismique est d'être plus rapide et peut-être moins onéreuse en mer que sur terre, car il n'y a ni perte de temps ni d'argent pour forer des trous de mine pour l'explosif. En revanche, il est extrêmement important de connaître l'emplacement exact de la mise à feu de chaque charge, et en mer, cela implique un repérage de situation de la plus haute précision. Pour répondre à ces exigences, on prévoit l'installation d'une chaine de radio-détermination de position (radio-goniomètre), les trois stations émettrices étant situées en Frise, dans l'East Anglia et au Danemark (fig. 20). Primitivement établie comme « aide de navigation » à l'usage des navires engagés dans les levés sismiques, la chaine-radio rend maintenant le même service à l'aviation, des hélicoptères l'ayant utilisée pour la première fois récemment pour leurs levés sismiques au-dessous de l'eau. L'emploi d'hélicoptères a été décidé vu la faible profondeur de grandes régions de la mer du Nord, les marées complexes et surtout parce qu'il s'est révélé impossible d'éliminer complètement le risque pour les navires de surface de rencontrer des mines datant de la guerre. Ces hélicoptères travaillent en couples, l'un transportant l'appareillage d'enregistrement sismographique et remorquant 1 000 m d'un câble flottant sur l'eau, auquel sont fixés une série de géophones extrêmement sensibles; l'autre plaçant et mettant à feu les charges d'explosifs.

Plusieurs méthodes différentes ont été mises en œuvre pour obtenir des profils sismiques continus donnant des renseignements sur les dépôts

superficiels du fond de la mer. Certaines de ces méthodes utilisent des sondeurs acoustiques extrêmement puissants, dont les sources d'énergie sont dues soit à des décharges électriques soit à des gaz explosifs. Les profils obtenus par le premier de ces moyens sont connus sous le nom de *sparker pictures* (images par éclateurs). Toutefois, les sources d'énergie de ces appareils n'ont pas encore été étudiées au point de fournir le pouvoir de pénétration des ondes de choc engendrées par la dynamite.

***

Ces différentes méthodes de prospection géophysique ont contribué dans une très large mesure à l'augmentation de la production mondiale de pétrole et de gaz naturel. Elles ont en outre permis de définir de façon relativement précise les limites des gisements de pétrole et d'économiser de grosses sommes d'argent en évitant des sondages mécaniques d'exploration dans les régions qui, vu les structures géologiques révélées, ne pouvaient être pétrolifères. Le sondage mécanique de contrôle reste cependant le seul moyen de déceler définitivement l'existence de gisements pétroliers.

Les levés et les recherches géophysiques — magnétiques, gravimétriques et sismiques des compagnies pétrolières étaient absolument indispensables. Ils ont donné de nombreux éclaircissements relatifs à la constitution et à la structure du bassin de la mer du Nord. En attendant la publication des résultats de ces recherches, on ne peut que conclure que certaines zones du bassin sont beaucoup plus favorables que d'autres à la recherche du pétrole ou du gaz, ce que confirme le grand nombre de concessions que les compagnies désirent obtenir dans les zones préférées. On sait par exemple aujourd'hui que d'importants gisements de gaz naturel se trouvent dans le secteur anglais du bassin situé devant les côtes du Durham, du Yorkshire et du Lincolshire. Dans ce secteur il semble que ce soient les couches permiennes qui sont les plus intéressantes, ces couches profondes ayant déjà été exploitées en Allemagne du Nord et aux Pays-Bas; elles le sont aussi dans une certaine mesure à Eskdale (Yorkshire). Cependant, il faut signaler que le gaz naturel de Groningue trouve son origine dans le grès *Rotliegende* (Permien inférieur), formation pas encore trouvée du côté britannique du bassin. Le point d'interrogation le plus important est donc de savoir où se trouve la continuation du *Rotliegende* au-dessous de la mer du Nord.

Une théorie déjà bien fondée explique que le gaz découvert dans les couches du Permien a son origine dans les roches carbonifères qui se trouvent en dessous. Ces mêmes couches carbonifères souvent associées à des gisements pétroliers sont inclinées vers la mer sur la côte néerlandaise aussi bien que sur la côte du Yorkshire. Cependant, au fur et à mesure qu'elles s'éloignent des côtes britanniques et néerlandaises, les dites couches carbonifères et permiennes deviennent de moins en moins inclinées et leur continuation sur toute la largeur du

bassin de la mer du Nord est confirmée par de nombreux levés géophysiques : La structure géologique du bassin a donc la forme d'une assiette creuse et il en ressort que les couches du Permien au-dessous du bassin se trouvent à une profondeur d'environ 3 000 m, à un niveau qui n'est guère inférieur à celui où se trouvent les couches permiennes de Groningue. Étant donné que les foreuses modernes peuvent pénétrer jusqu'à 7 000 m, les formations les plus intéressantes du bassin sont donc accessibles en utilisant les appareils déjà disponibles en mer du Nord.

Au cours des explorations, il serait faux de se borner aux roches d'origine carbonifère ou permienne, car en Allemagne et aux Pays-Bas, des gisements de pétrole et de gaz ont été découverts dans les couches du Mésozoïque (jurassique et crétacé). Ces mêmes couches se trouveront vraisemblablement au-dessous du bassin, mais il y a là encore une autre lacune à combler en ce qui concerne nos connaissances de la géologie du bassin de la mer du Nord.

Malgré les explorations pour trouver du pétrole aux Pays-Bas qui remontent à 1930, les gisements de gaz naturel de Groningue ayant le caractère d'une vaste dôme d'une étendue de 35 km² n'ont été découverts qu'en 1959. Cependant, à cette même époque entre 1930 et 1940 on avait découvert du pétrole à plusieurs endroits près de la frontière germano-néerlandaise et également en Angleterre, notamment à Eakring aux environs de Nottingham. Dans ces deux cas, les gisements de pétrole ne se trouvaient pas à grande distance des gisements de gaz naturel découverts une trentaine d'années plus tard, c'est-à-dire à Slochteren (Groningue) et à Eskdale (Whitby, Yorkshire). De ces faits historiques nous tirons la conclusion que dans l'industrie pétrolière, comme dans la plupart des entreprises, c'est surtout la persévérance qui compte.

Les géologues savent depuis longtemps que le pétrole se trouve non seulement dans certaines couches de roches sédimentaires d'origine marine, mais que le dépôt de ces mêmes roches se fit sous des conditions correspondantes à celles d'un climat tropical. La théorie de la dérive des continents (1) au cours des ères géologiques pourrait donc expliquer l'existence de ces roches pétrolifères à des latitudes aussi hautes que celles de la mer du Nord de nos jours. C'est ainsi que les changements de latitude du Dogger Bank ont été calculés par les géologues pour une période de 400 millions d'années. L'échelle chronologique nous montre que ces latitudes ont changé d'une telle manière que le Dogger Bank se trouvait dans la zone tropicale pendant l'époque carbonifère et qu'au cours des millénaires il s'est déplacé, due à la dérive des continents, jusqu'au milieu de la zone tempérée. A ce propos, il faudrait signaler tout particulièrement l'aide apporté à la géologie au moyen de l'introduction des théories de paléomagnétisme. C'est grâce à ces études paléomagnétiques que les ingénieurs-géologues réussissent à déceler parmi les vastes étendues de roches sédimentaires les couches les plus propices en ce qui concerne les gisements de pétrole ou de gaz naturel.

Nous pouvons en conclure que le poléomagnétisme étudié dans la région du Dogger Bank semble confirmer la théorie de la dérive des continents.

Ainsi qu'il a été indiqué à plusieurs reprises, les travaux de forage en mer sont toujours en suspens en ce qui concerne le secteur néerlandais du bassin. C'est néanmoins le Gouvernement des Pays-Bas qui, le premier, entreprit récemment un levé gravimétrique de la mer du Nord qui montre d'une façon très nette les variations de densité des roches du sous-sol. Étant donné que la densité est moindre dans les régions où il y a des masses de roche légère (par exemple, les dômes de sel souvent associés à des gisements pétroliers), ces mêmes régions ont un intérêt tout particulier pour les ingénieurs-géologues. Or, de de telles régions ont été repérées aux environs du Dogger Bank et dans le Moray Firth au large de la côte écossaise près d'Inverness, ce qui pourrait expliquer l'octroi de concessions dans ces mêmes régions à plusieurs sociétés pétrolières (fig. 14).

Dans le secteur norvégien également on constate sur la carte gravimétrique une région de faible densité à l'Est de la ligne médiane séparant les zones britanniques et norvégiennes du plateau continental. Les concessions déjà octroyées dans le secteur appartenant à la Norvège coincident assez étroitement avec ladite région de faible densité. Des travaux de forage sont actuellement en cours dans cette même partie du secteur.

S'il est exact de dire que nos connaissances de la géologie du bassin de la mer du Nord sont aujourd'hui beaucoup plus larges qu'elles ne l'étaient avant le commencement des travaux de forage en mer, il n'en est pas moins exact de dire que dans un domaine connexe, ou plutôt dans une autre discipline, il reste encore beaucoup à faire. Il s'agit de la diagenèse (9) des sédiments marins, l'étude de la métamorphose de substances organiques et minérales, déposées sous forme de sédiment sur le fond de la mer pour y être transformées en roche sédimentaire. C'est ainsi que certains géologues, notamment K.O. Emery aux États-Unis, cherchent à trouver un rapport entre ces diverses substances et les produits pétroliers prélevés des différentes roches sédimentaires.

Aujourd'hui nous pouvons constater avec grande satisfaction que des études de plus en plus détaillées en géophysique sous-marine sont suivies dans nos institutions. Nous constatons également la construction de bateaux spécialement aménagés pour le prélèvement de carottes qui nous fournissent de si précieux renseignements relatifs aux roches sédimentaires et au soubassement. Finalement, en ce qui concerne le projet « Mohole », il faudrait reconnaître le mérite des savants américains en essayant de forer à travers des milliers de mètres de la croûte terrestre pour déterminer le caractère des couches inférieures.

Analyse de la structure géologique du bassin

I. — *Sur territoire britannique*

Les études géologiques entreprisent jusqu'ici ont permis aux géologues d'établir une correlation stratigraphique entre la région de Groningue d'une part et celle du Yorkshire d'autre part. Toutefois il leur semble nécessaire de poursuivre l'étude de ces deux régions, notamment du point de vue lithologique et paléontologique.

La recherche du pétrole en Grande Bretagne (en particulier les travaux de forage) est principalement effectuée par la Société British Petroleum (B.P.), en collaboration avec d'autres autorités nationales, notamment le Gas Council et Imperial Chemical Industries (I.C.I.). Parmi les régions explorées, il faut mentionner le Dorset, l'Ile de Wight, les Midlands, le Lancashire, le Yorkshire et l'Écosse (aux environs d'Edimbourg). Des gisements de gaz naturel ou de pétrole ont été trouvés dans toutes ces régions mais seuls ceux découverts dans les Midlands (Nottingham) et dans le Yorkshire (Eskdale) sont importants. Ces deux dernières régions, plus ou moins voisines, ont un certain intérêt en raison de leurs relations probables dans les récentes découvertes de pétrole et de gaz en mer du Nord, au large des côtes du Yorkshire par exemple.

En ce qui concerne les gisements pétrolifères des Midlands, c'est-à-dire au N-E de Nottingham, il s'agit principalement de gisements de pétrole dont le plus important est à Eakring dans les grès carbonifères (*Millstone Grit*). D'autres forages se poursuivent dans cette région dans le but de reconnaître la suite de l'anticlinal d'Eakring. Les forages de cette région bénéficient des renseignements obtenus depuis de longues années dans les nombreux charbonnages des environs de Nottingham, Leicester et Doncaster, le charbon et le pétrole étant très fréquemment associés dans toute la région des Midlands. Malgré la présence d'hydrocarbures dans les couches carbonifères inférieures et également dans le *Millstone Grit*, souvent les accumulations de ceux-ci ne sont pas suffisamment importantes pour justifier une exploitation commerciale et ceci en raison de l'absence d'un toit rocheux imperméables (cap-rock).

A défaut des données précises sur la structure géologique au large des côtes du Lincolnshire où se trouve le premier puits de pétrole brut découvert jusqu'à ce jour (Concession 48/22), la corrélation du gisement d'Eakring avec ce puits est encore hypothétique, bien que la latitude de ces deux gisements — (53° 20' N.) — soit la même que celle du gisement de Spital situé entre les deux (fig. 4).

Deux éminents géologues, Falcon et Kent (10), ayant étudié pendant de longues années la structure géologique des Midlands ont étendu leurs travaux au NE de cette région, soit plus précisément au Durham et Yorkshire. Or, c'est précisément à Whitby (Eskdale) que se trouve un bassin permien très riche en sédiments et en évaporites

potassiques, découvert à la suite de forages à moyenne profondeur entrepris à Eskdale et à Robin Hood's Bay où des anticlinaux étaient connus depuis longtemps. Ce bassin permien est en effet caractérisé par de nombreux niveaux de dépôts salifères (évaporites), dont l'origine est incontestablement liée à la mer de Zechstein (fig. 5). Dunham (9) *et al* expliquent leur formation et leur grande épaisseur (allant jusqu'à 130 m près du village de Sleights) par des transgressions et des émersions successives s'étant produites pendant l'époque permienne. Les assises les plus importantes de ces évaporites se trouvent au niveau du *Upper Magnesian Limestone* dont la profondeur moyenne à Eskdale est à 1300 m. Les cartes géologiques montrent que ces dépôts de potasse provenant de la mer de Zechstein s'étendent probablement de l'Angleterre du N-E jusqu'en Hollande et en Allemagne (région de Hanovre); ceux-ci ayant d'ailleurs les mêmes caractéristiques que les évaporites permiennes du Texas et du Mexique. Toutes ces régions sédimentaires se sont révélées riches en hydrocarbures et c'est pour cette raison que la première découverte de gaz naturel en Angleterre — plus exactement à Eskdale — ne fut pas une surprise. Celle-ci n'est probablement que le commencement d'une exploitation pétrolière très importante. Le gaz d'Eskdale, amené directement à la ville de Whitby, a longtemps servi d'exemple pour le reste du pays en ce qui concerne l'usage domestique du méthane.

Des études sismiques tant aux environs de Whitby qu'au large de la côte du Yorkshire près de Robin Hood's Bay se poursuivent activement. La plateforme de forage *Neptune* se trouve actuellement à quelques kilomètres de cette côte et les opérations de forage peuvent être suivies par le grand public. Des travaux de forage continuent à Lockton aux environs de Scarborough et à d'autres endroits à quelques kilomètres de Whitby. A cet égard il faut rendre hommage à un très éminent géologue, Percy F. Kendall (1856-1936), qui, le premier (18), découvrit les riches gisements de minerais du Yorkshire, son pays natal.

La coupe transversale de Gaskell (fig. 6) montrant les grandes lignes de la structure géologique du bassin de la mer du Nord, confirme la forme d'assiette creuse de cette structure entre la côte du Yorkshire et celle des Pays-Bas (Province de Groningue). Cette coupe montre en particulier, tant du côté britannique que du côté néerlandais, les anticlinaux où se sont accumulés les réservoirs de gaz exploités à Eskdale et à Slochteren. La figure 7 présente la colonne stratigraphique type du bassin de la mer du Nord ainsi que la situation des gisements pétrolifères.

II. — Sur territoire néerlandais

La recherche du pétrole aux Pays-Bas est effectuée par la Société néerlandaise — Nederlandse Aardolie Maatschappij (NAM) — qui est un consortium formé de plusieurs compagnies pétrolières, dont principalement la Royal Dutch Shell. C'est en 1947 que leurs premiers forages furent entrepris, mais ce n'est qu'en 1959, au moment de la

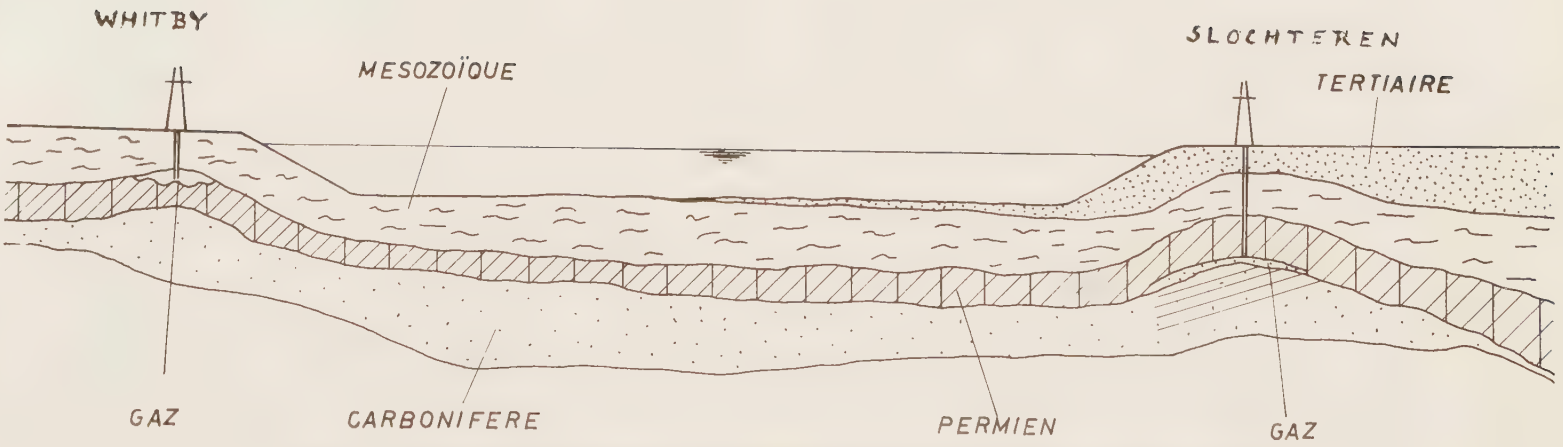

FIG. 6. — *Coupe transversale montrant la structure géologique du Bassin de la Mer du Nord (d'après Gaskell)*

découverte du gisement de Slochteren, que la Hollande s'est révélée être un pays riche en hydrocarbures.

Ainsi que nous l'avons déjà dit, le gaz de Slochteren se trouve dans une formation permienne appelée *Rotliegende* à une profondeur d'environ 3 000 mètres. La structure géologique suivant un axe Assen-Slochteren-Delfzyl est schématisée dans la figure 8. Cette dernière met en évidence l'anticlinal de Slochteren de même que la faille, qui à cet endroit recoupe les formations en commençant près de la surface et s'étendant jusqu'aux niveaux permiens. A Slochteren se trouvent donc réunies deux des conditions généralement favorables pour l'accumulation de pétrole ou de gaz, soit un anticlinal dans les couches poreuses du permien et une faille. En outre, la carte paléogéographique de la période permienne (fig. 5), confirme l'existence d'un lac salé dans la région de Groningue de même que dans le N-E du Yorkshire de l'autre côté du bassin.

Découvertes jusqu'a la fin de 1966

On sait que tous les travaux de forage entrepris en mer du Nord ces deux dernières années ne révélèrent que des gisements de gaz naturel. Le nombre et la régularité de ces découvertes de gaz semblaient donner raison aux experts qui n'avaient prévu que des gisements gazeux dans tout le bassin de la mer du Nord. Cela pourrait expliquer également pourquoi les sociétés pétrolières ont retardé jusqu'à la fin du mois d'Octobre 1966 l'annonce officielle de la première découverte de pétrole en mer du Nord. Cette date du reste coincide avec le commencement de la saison d'hiver rendant les travaux de forage en mer difficiles, voire dangereux, dans tout le bassin de la mer du Nord.

L'annonce de cette découverte parut dans tous les journaux britanniques et précisa que celle-ci était une réussite du Consortium Burmah Oil Exploration Co. Ltd. et Imperial Chemical Industries Ltd. Le gisement est situé à quelques 25 km au Nord-Est de Cromer (Norfolk) dans la Concession 48/22. Sa profondeur est de l'ordre de 2 500 m. Son importance semble grande car son débit moyen serait de 400 barils par jour.

Pour essayer de comprendre cette première découverte de pétrole en mer du Nord, il est nécessaire de se référer à la carte de la figure 5, qui montre que dans les deux régions du bassin où l'on a découvert et du gaz et du pétrole existaient pendant la période permienne (3) des lacs salés (potash salt lakes). Ces régions correspondent d'une part à la province de Groningue et d'autre part à la région côtière britannique entre le Norfolk et le Yorkshire, ce qui peut amener à penser — comme certains journaux l'ont dit — que ce pétrole provient des grès du Permien inférieur qui ont les mêmes caractères que les grès de Groningue.

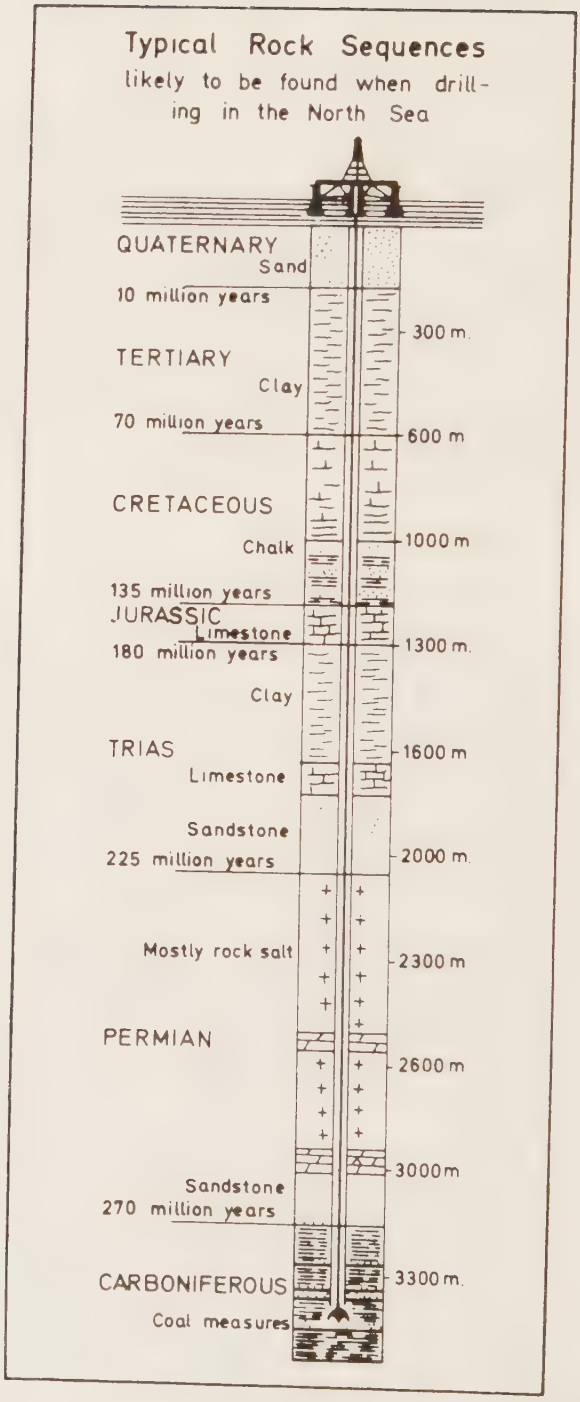

FIG. 7. — *La colonne stratigraphique du bassin de la mer du Nord.*

D'autre part il convient de se rappeler que le gaz naturel (méthane) accompagne la plupart du temps le pétrole. Étant donné le grand nombre de découvertes de gaz dans le secteur britannique (y compris les gisements d'Eskdale et de Scarborough) la présence de pétrole, peut-être parfois en faible quantité, ne devrait pas nous surprendre. Il semble donc que toute la région côtière britannique entre le Norfolk et le Yorkshire peut être exceptionnellement riche en gisements pétroliers. On pourrait en voir la preuve sur la carte montrant les concessions (fig. 9), car jusqu'ici ce n'est que dans les blocs 48 et 49 (latitude 53° — 54° N. et longitude 1° — 3° E.) que se trouvent les puits de gaz ou de pétrole capables de fournir du carburant industriellement exploitable.

ÉCHELLE GÉOLOGIQUE

Eres	Périodes et Époques	Durées approximatives en années
	Quaternaire	
	Holocène ou récent	25 000
	Pleistocène	2 000 000
Cénozoïque	Tertiaire	
	Pliocène	16 000 000
	Miocène	30 000 000
	Oligocène	42 000 000
	Eocène	70 000 000
Mésozoïque	Crétacé	110 000 000
	Jurassique	145 000 000
	Trias	190 000 000
Palaéozoïque	Permien	230 000 000
	Carbonifère	270 000 000
	Dévonien	310 000 000
	Silurien ou Gothlandien	345 000 000
	Ordovicien	390 000 000
	Cambrien	500 000 000

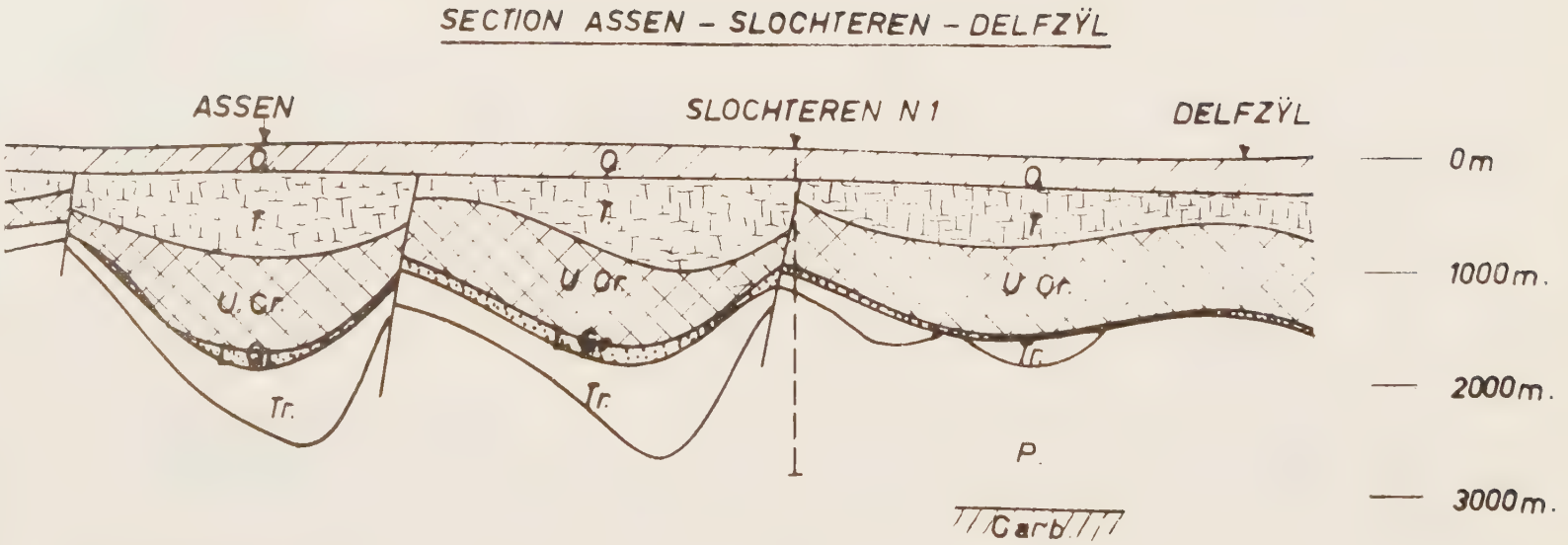

FIG. 8. — *Coupe transversale Assen-Slochteren-Delfsyl*

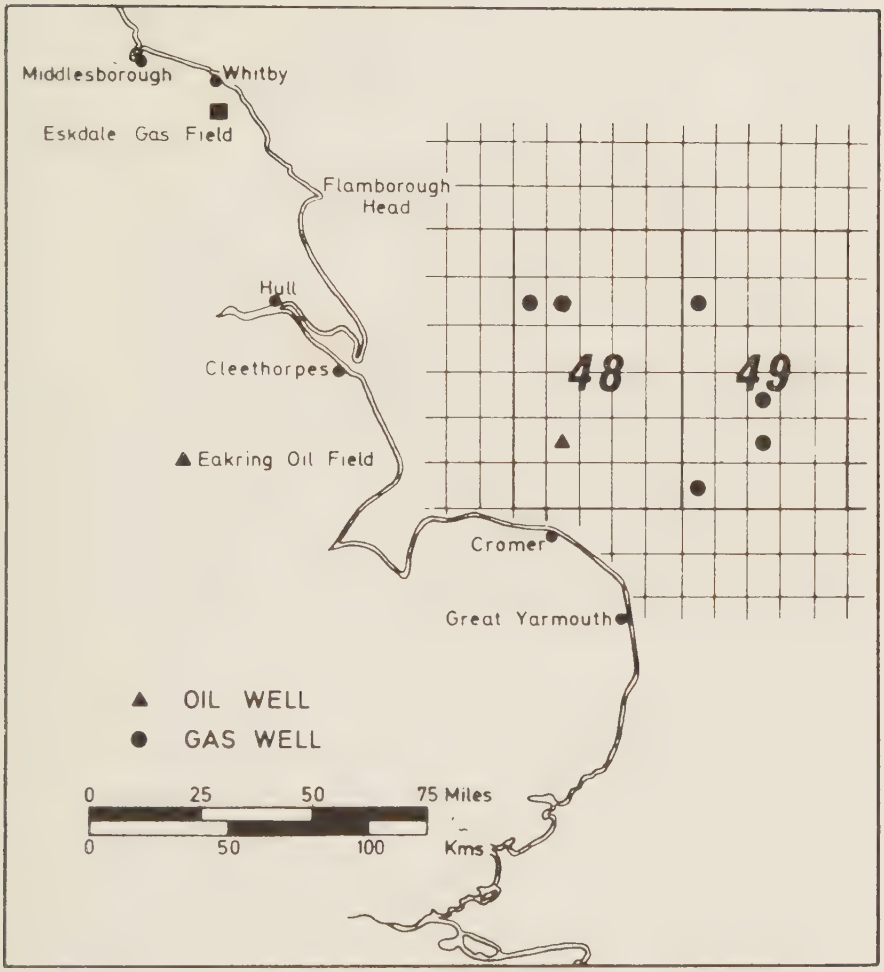

FIG. 9. — *Les concessions au large de la côte du Yorkshire et du Lincolnshire*

III. — SEDIMENTOLOGIE

L'étude de la sédimentologie du bassin de la mer du Nord s'est montrée particulièrement nécessaire en raison d'une part de l'installation de nombreuses plateformes de forage dont les pieds reposent sur le fond de la mer, et d'autre part par suite de la pose de conduites immergées (oléoducs et gazoducs) sur ce même fond. Avant d'entreprendre les travaux d'installation que représente la pose des pilliers ou des conduites, l'ingénieur se devait de connaître la nature des sédiments, leur épaisseur et l'ampleur de leurs déplacements provoqués par les courants de fond. L'étude de ces sédiments et de leur comportement présente deux parties : a) les prélèvements et b) l'analyse des sédiments.

a) *Les prélèvements :*

Avant d'étudier la nature des sédiments du bassin de la mer du Nord en particulier, une explication s'impose concernant les problèmes posés par les prélèvements des sédiments tapissant le fond des mers et des océans en général. Tout d'abord faisons remarquer que le navire affecté à de telles recherches se trouve naturellement éloigné verticalement de plusieurs centaines de mètres du matériel à prélever. En même temps il est soumis aux mouvements que lui impriment les vagues et à la dérive due au vent. Sauf pour l'emploi d'engins autonomes, tels que les bathyscaphes du Professeur Piccard (23) qui seuls sont capables d'atteindre les zones abyssales, les techniciens se sont efforcés de mettre au point des appareils de prélèvements destinés à prélever des échantillons de la couche superficielle des sédiments. On peut diviser ces appareils en quatre catégories, suivant le principe sur lequel ils sont basés :

1°) Les préleveurs du type « benne » sont les plus couramment employés. Descendues ouvertes, les bennes se referment au contact du fond emprisonnant un échantillon de sédiment. Les difficultés qui se présentent lors de l'usage des bennes à grande profondeur limitent leur emploi au plateau continental et aux profondeurs moyennes.

2°) Les dragues utilisées par les géologues sont traînées par un bateau pour arracher du fond des morceaux de roche ou des débris qui restent dans le sac de la drague. Pour ce genre de prélèvement les dragues sont difficilement remplaçables.

3°) Les cônes sont des appareils très simples employés en particulier à faible profondeur. Construit en tôle d'acier, le cône est traîné par sa partie ouverte et se remplit de sédiments. Certains modèles sont munis d'un couvercle qui se ferme au moment de la remontée de l'appareil.

4°) Les préleveurs à cylindre tournant sont les mieux adaptés aux travaux à grande profondeur. Après la pénétration de l'appareil dans le sédiment, la traction du câble précédant la remontée fait tourner de 180° un demi-cylindre à axe horizontal pour prélever une tranche de sédiment d'une vingtaine de centimètres d'épaisseur. Cet appareil a été employé à des profondeurs de 5 000 mètres. C'est le seul capable de ramener un échantillon de sédiment non remanié.

Si la pénétration doit continuer jusqu'à l'intérieur du sédiment ou de la roche, il est nécessaire d'employer des carottiers. Pendant de longues années les océanographes utilisent des carottiers à gravité. Ce système est encore utilisé actuellement pour certaines recherches. En 1941, Petterson et Kullenberg appliquèrent de nouvelles techniques pour élaborer un carottier où la pénétration de la carotte est favorisée par une chambre à la pression atmosphérique mise en communication avec un piston au moment où le carottier arrive sur le fond. Il est possible de retirer grâce à ce dispositif des carottes de 20 mètres de long par 240 m de fond, mais celui-ci est inutilisable à grande profondeur en raison des énormes différences de pression. En effet, c'est le carottier de Kullenberg qui est en général utilisé par les océanographes. A ce propos, il faut signaler que l'emploi d'un explosif associé à l'action du piston a permis des pénétrations encore plus importantes et à grande profondeur.

Les carottiers à roche (à charge explosive) sont moins nombreux et des pénétrations de l'ordre d'un mètre dans les roches dures sont réalisables. Toutefois, la Société Segans en France a fait étudier et expérimenter dans le détroit de Gibraltar, en utilisant le navire océanographique *Amalthée*, un carottier à roche pour effectuer des prélèvements d'échantillons de plus d'un mètre de longueur. Cette reconnaissance française était destinée à préciser le tracé d'un éventuel gazoduc sous-marin traversant le détroit par 400 mètres de fond, sous des courants transversaux et alternés supérieurs à 2 nœuds. D'autres carottiers à roche du même genre, capables de perforer une vingtaine de mètres sont en préparation.

b) *l'analyse des sédiments :*

Ce sont les géologues qui ont fourni les données les plus précises relatives aux sédiments qui recouvrent le fond de la mer, surtout en ce qui concerne le plateau continental où il est possible de prélever des carottes de ces sédiments à une profondeur d'eau qui ne dépasse guère 200 mètres. Les compagnies pétrolières sont les premières à reconnaître la valeur des recherches géologiques consacrées à l'étude des sédiments marins. Elle sont du reste souvent demandé l'aide d'éminents géolo-

gues pour résoudre les problèmes qui leur étaient posés. A cet égard, il faut citer tout particulièrement le nom du géologue hollandais, Ph. H. KUENEN, Professeur à l'Université de Groningue (Institut de Géologie) (20).

Le Dr. H. J. VEENSTRA (33), géologue, également à l'Université de Groningue, a publié les résultats d'un levé du Dogger Bank effectué en 1963, dont le but était l'analyse des sédiments prélevés sur le fond dans la région située entre 53°50' — 54° 50' N et 2° — 4° 20' E. Le carottier à gravité qu'il a utilisé pesait 120 kg et le nombre de carottes prélevées s'élevait à 40. De tous les échantillons obtenus au cours de ces sondages il ressort que le Dogger Bank est composé de sable (fraction moyenne) et de débris de galets ou de coquilles dans presque toute sa partie supérieure (profondeur moyenne de 25 m). Cependant à l'est du Bank où la profondeur moyenne est de 50 m, le fond est recouvert de sable fin et de boue. Dans la région au Sud du Bank et plus particulièrement dans la fosse, profonde de 70 mètres, qui fait partie du Outer Silver Pit, les sédiments sont plutôt argileux et de couleur brunâtre.

Une autre conclusion de VEENSTRA relative aux dimensions des galets sur le plateau du Dogger Bank par rapport à ceux qui se trouvent sur ses pentes est d'un intérêt tout particulier. Sur le plateau, les fractions > 8 mm dominent, tandis que sur les pentes les fractions prépondérantes sont < 4 mm. La cause de cette répartition est probablement due au fait que les plus petites fractions ont été chassées des régions supérieures par les courants et redéposées dans les eaux plus calmes à plus grande profondeur sur les pentes elles-mêmes.

DONOVAN et DINGLE (Université de Hull) dans leur ouvrage (8) sur la géologie de la mer du Nord publié en 1965, confirment que les dépôts de sédiments sont rarement très épais mais que dans cette même région entre le Sud-Ouest du Dogger Bank et la zone côtière britannique au large de Flamborough Head on trouve parfois des dépôts de sable (30) d'une épaisseur de 20 m, souvent accumulés sous forme de bandes (sandwaves). C'est en effet la géologie de la partie sud-ouest de la mer du Nord qui a été étudiée en particulier par DONOVAN et DINGLE. La carte (fig. 10) donne l'essentiel des résultats de leurs travaux.

Embarqués sur un chalutier, les deux géologues ont effectué des prélèvements avec un carottier à gravité. Les observations par réflexion sismique ont donné des renseignements structuraux relatifs aux formations situées sous le fond de la mer ainsi que des renseignements sur les couches de sédiment superficiel.

La carte (fig. 10) montre la répartition des affleurements des formations pré-quaternaires mises en évidence jusqu'à maintenant. Au Sud de Flamborough Head toutes les formations pré-Quaternaires sont recouvertes de dépôts pleistocènes. Par contre, entre Flamborough Head et Tynemouth, les formations mésozoïques affleurent sur le fond de la mer. Elles ont ainsi pu être échantillonnées systématiquement à des intervalles séparés de quelques kilomètres. Les formations juras-

siques au large de la côte N-E du Yorkshire montrent de légers plissements.

Les formations crétacées de cette même côte N-E du Yorkshire sont recouvertes par des matériaux pleistocènes et des dépôts superficiels plus au large de cette côte. D'une façon générale le matériel pleistocène de cette région est représenté principalement par de la moraine de fond provenant de la dernière glaciation.

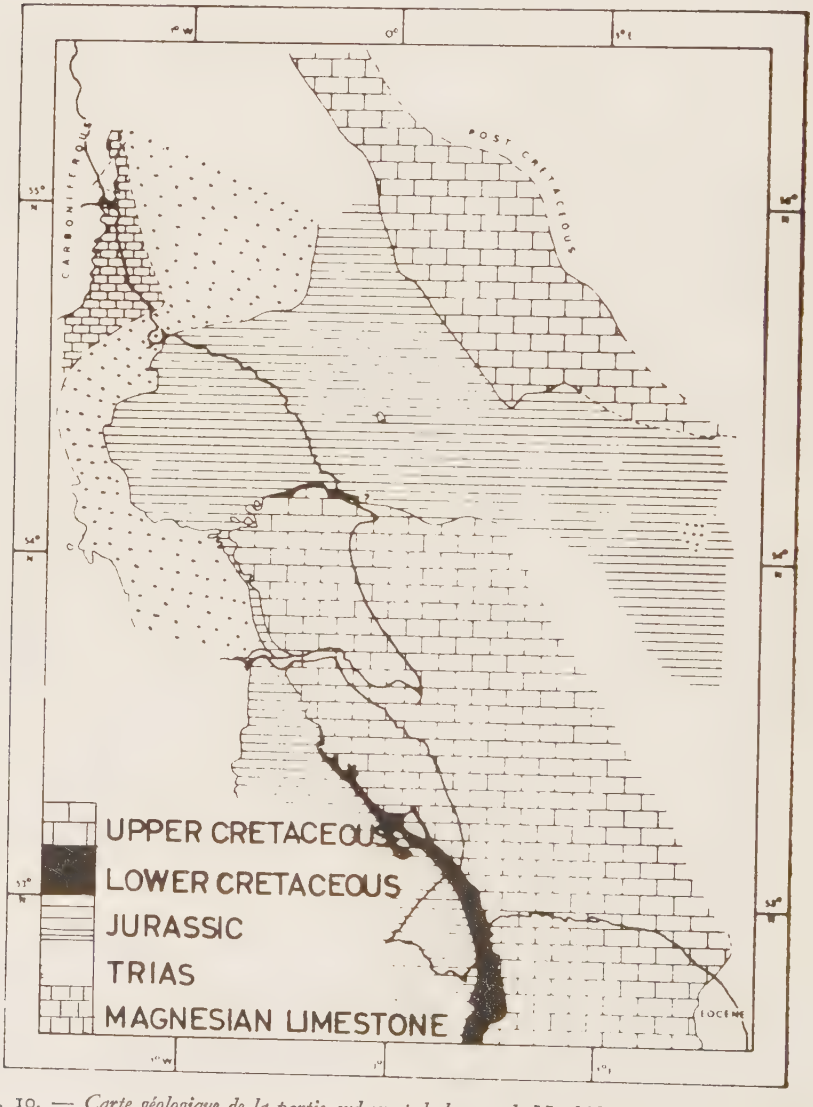

Fig. 10. — *Carte géologique de la partie sud-ouest de la mer du Nord (d'après Donovan et Dingle).*

IV. — LE FORAGE EN MER DU NORD

Longtemps confinée aux régions terrestres, la recherche pétrolière s'est déplacée vers les eaux du plateau continental, particulièrement depuis que les territoires les plus facilement exploitables ont atteint leur plein développement. On trouve des installations d'extraction pétrolière en mer dans le golfe du Mexique, au Vénézuela (lac de Maracaïbo), en Californie, dans le golfe Persique, au Nigéria, à Bornéo et au Japon. Dans toutes ces zones se trouvent sous la mer des bassins sédimentaires où se sont accumulés le pétrole ou le gaz (hydrocarbures) provenant de la décomposition d'animalcules marins et de plantes. Il existe dans certaines régions du globe, sous la mer, d'épaisses couches de roches sédimentaires. La mer du Nord est un exemple d'un tel bassin de dépôts marins, attendu que le périmètre de celle-ci a été entièrement ou partiellement une zone marine depuis plus de 270 millions d'années, c'est-à-dire au moins depuis l'époque du carbonifère.

La mer du Nord étant le plus récent exemple de bassin sédimentaire sous-marin livré à la prospection pétrolière, les problèmes rencontrés par les ingénieurs illustrent bien les difficultés auxquelles on peut s'attendre dans toute exploration sous-marine. La première étape des travaux consiste à effectuer des levés d'exploration magnétiques, gravimétriques et sismiques pour déterminer l'emplacement, la structure et l'épaisseur des formations rocheuses. On fait ensuite dans les zones les plus prometteuses des essais de forage à partir de plate-formes fixes ou flottantes, car seul le forage permet de révéler l'existence de dépôts de pétrole ou de gaz.

C'est vers la fin du siècle dernier que les ingénieurs ont fait appel à la géologie et à la géophysique pour découvrir les régions les plus propices à l'exploitation du pétrole. Seules ces sciences permettaient de connaître la nature et la composition des couches sous-jacentes. En fait, les conseils du géologue et du géophysicien peuvent souvent amener à repérer et à découvrir le pétrole en des endroits exempts de toute trace superficielle visible, comme le suintement par exemple. C'est ainsi que certains plateaux dénudés sans relief, des bassins marécageux de fleuves ou certains emplacements sur le plateau continental se sont révélés de bons exemples de régions riches en pétrole.

La réussite remarquable des puits forés en 1959 dans la province de Groningue, aux Pays-Bas, leur débit suffisant pour subvenir aux

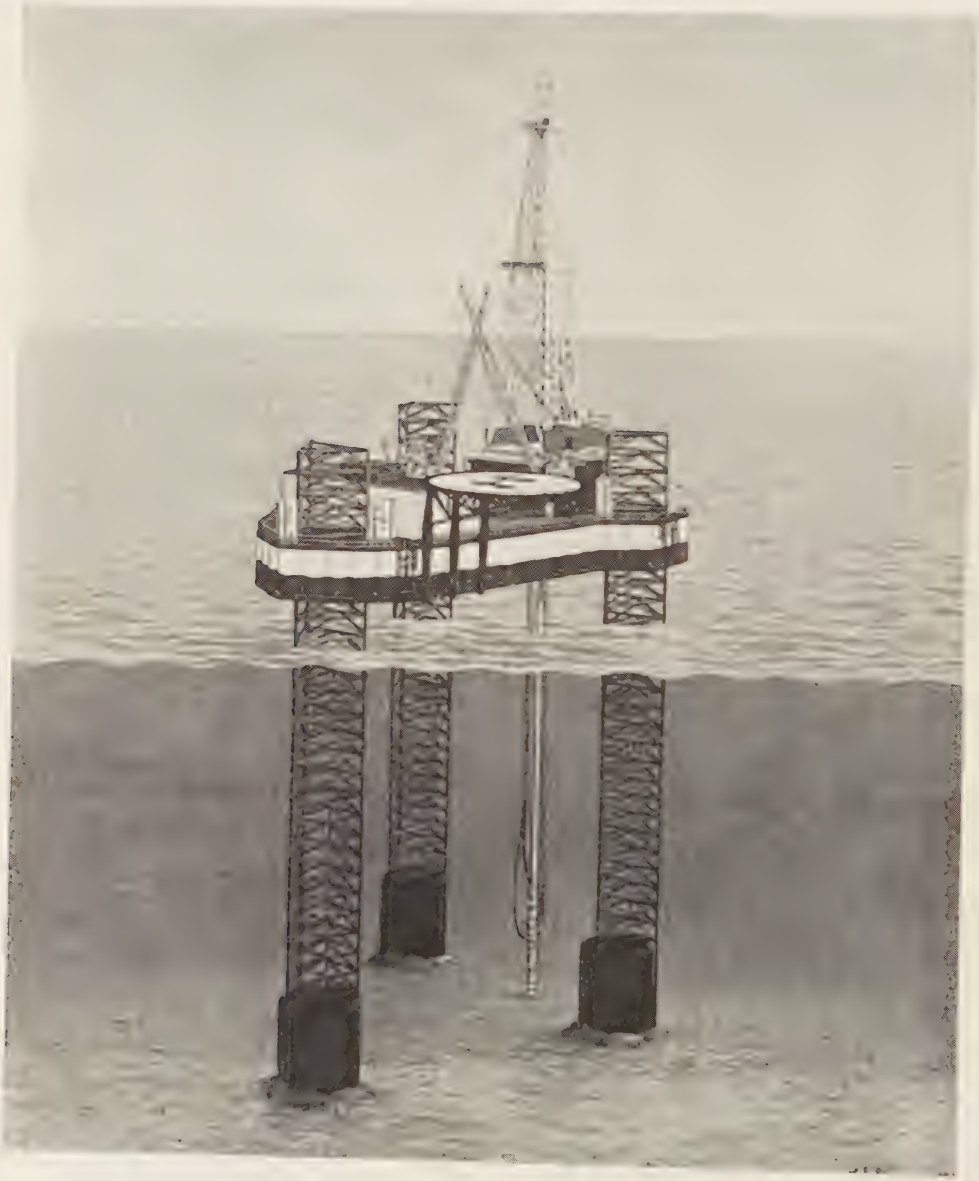

FIG. 11. — *Plateforme auto-élévatrice (vue d'ensemble).*

besoins en gaz naturel de l'ensemble des Pays-Bas ainsi que des pays limitrophes, a vite conduit à conjecturer que ces riches dépôts pourraient avoir leur prolongement au-dessous de la mer du Nord. C'est la réussite de cette entreprise en Hollande qui a contribué pour une bonne part à l'exploration intensive dont cette région maritime fait maintenant l'objet.

Pendant les cinq années qui suivirent la découverte des gisements de gaz naturel de Groningue, les travaux d'exploration en mer du Nord progressèrent rapidement et à la fin de l'année 1964 commencèrent les forages d'exploitation. La profondeur de l'eau — environ 200 m à 62° de latitude Nord et environ 30 m plus au sud — ne pose aucun problème technique de forage. Les mauvaises conditions météorologiques qui règnent dans la mer du Nord, surtout en hiver, poseront certainement des problèmes plus considérables, car elles présentent un danger pour le puits de forage (la destruction de la Tour-de-Texas par une Tempête sur la côte américaine illustre bien ce danger). Depuis l'année 1925, où des piliers de bois supportaient les treuils de forage, la technique du sondage sous-marin a fait de grands progrès. Ces piliers de bois étaient suivis de barges de forage que l'on remorquait jusqu'au lieu de forage, où elles étaient coulées au fond de la mer. Plusieurs types d'appareillage de forage mobiles ont été mis au point pour des travaux exécutés au large de la côte; ainsi par exemple, des plate-formes soutenues par des piliers pouvant être soulevées au moyen d'un système de vérins jusqu'à la hauteur voulue au-dessus du niveau de la mer (fig. 11). Les types les plus récents sont des plateformes flottantes. On distingue deux systèmes différents;

a) le système de forage en deux parties séparées, le puits et la barge,

b) le système composé d'une coque immergée flottante, supportant la plate-forme de travail qui est maintenue au-dessus du niveau de la mer au moyen de piliers flottants de grande dimension.

De telles installations de forage peuvent coûter plus de 2 millions de livres sterling.

Modèles de plate-formes de forage

C'est en 1896 qu'on effectua le premier forage en mer au large de la Californie. Dans les années 1920-30 de nombreux forages furent entrepris dans les bayous de la Louisiane. Au fur et à mesure que les compagnies pétrolières furent amenées à opérer dans des eaux plus profondes, elles mirent au point des installations plus perfectionnées, suffisamment stables pour résister aux vents et aux vagues.

Quatre modèles de plate-formes sont utilisés pour les forages sous-marins :

1°) *La plate-forme submersible* est issue des barges utilisées en Louisiane. Dressée sur ses béquilles stabilisatrices ancrées au fond de la mer, elle peut forer par 50 m d'eau. Ses béquilles ont en général l'aspect de « bouteilles de lait ». Son poids est d'environ 5 000 tonnes.

FIG. 12. — *Une plate-forme auto-élévatrice ravitaillée par bateau et par hélicoptère.*

2) *La plate-forme autoélévatrice* possède des possibilités d'utilisation plue variées. C'est le modèle le plus répandu de nos jours. Les béquilles qui reposent sur le fond de la mer peuvent avoir jusqu'à 20 m de long. La plate-forme coulisse pratiquement le long des piliers pour se maintenir à une certaine distance au-dessus du niveou de l'eau. Elle pèse quelque 6 500 tonnes et peut forer par 100 m d'eau (fig. 11 et 12).

3°) *Le navire de forage* est utilisé lorsque les eaux sont trop profondes pour qu'il soit possible de fixer des piliers sur le fond. Le forage s'effectue alors soit par un trou pratiqué au centre du navire, soit à partir d'une position excentrique. Ce navire peut se déplacer facilement mais ne possède pas une stabilité suffisante lorsque la mer est agitée.

4°) *La plate-forme semi-submersible* se soutient par des flotteurs immergés dans la mer. Lorsqu'elle opère en eaux peu profondes (40 m) elle peut reposer sur le fond grâce à ces piliers (fig. 13).

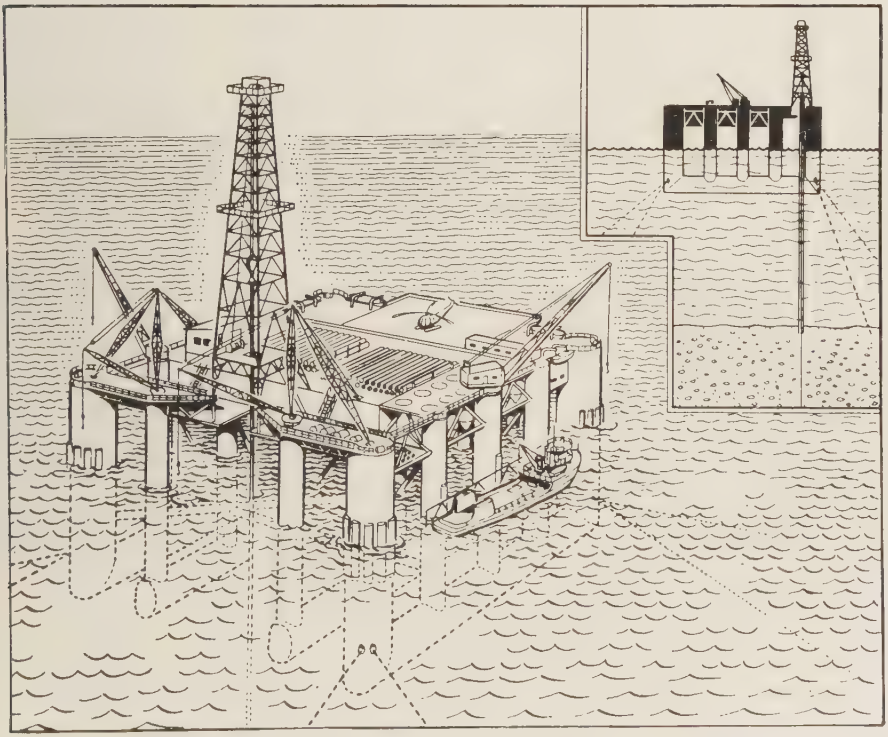

FIG. 13. — *Une plateforme de forage semi-submersible*

***

Les frais de forage sous-marins sont deux ou trois fois plus élevés que ceux des forages en terre ferme. Aussi la quantité de pétrole ou de gaz naturel recherchée doit-elle être suffisamment importante pour justifier de pareilles dépenses. Cependant la grande stabilité économique des pays situés au bord de la mer du Nord est un facteur extrêmement important pour l'exploitation des gisements de pétrole ou de gaz trouvés au-dessous de ce bassin sédimentaire. La découverte de grands gisements dans cette région européenne constituerait l'exception à la règle qui jusqu'ici affirmait que les territoires pétrolifères les plus riches se trouvent dans les pays relativement sous-développés du Moyen-Orient, de l'Extrême-Orient et de l'Amérique du Sud.

Ainsi qu'il a été indiqué précédemment, tous les moyens les plus modernes sont employés actuellement pour les travaux de forage en mer du Nord, y compris une plate-forme flottante et mobile qui vient d'être construite dans le chantier naval de Belfast. Depuis le début des premiers travaux de forage en mer du Nord vers la fin de 1964, les compagnies pétrolières ayant profité de leurs concessions dans la région sont devenues de plus en plus nombreuses, surtout dans une des zones considérées comme des plus favorables, c'est-à-dire au large des côtes du Yorkshire. A ce propos, il convient de signaler que jusqu'à l'heure actuelle le seul gisement de gaz naturel d'Angleterre suffisant pour alimenter une ville moyenne de 20 000 habitants se trouve aux environs de Whitby, port de pêche sur la côte nord-est du Yorkshire. Toutefois nous pouvons déjà constater que les travaux de forage près de Scarborough (Yorkshire) donnent des résultats très favorables concernant des gisements de gaz naturel.

Les foreuses modernes sont capables de pénétrer très profondément dans la croûte terrestre. En 1956, par exemple, on a dépassé 7 000 m aux États-Unis. Sur terre ferme, des opérations de cette envergure ne présentent pas de difficultés exceptionnelles, mais en haute mer, les mêmes opérations sont beaucoup plus pénibles, voire impossibles, lorsque les conditions météorologiques sont aussi capricieuses qu'elles peuvent l'être dans la mer du Nord. C'est ainsi que la plate-forme *Sea Gem* qui, la première, au mois d'octobre 1965 avait permis de découvrir un gisement important de gaz naturel à l'est de la côte du Yorskhire, a coulé par un temps qui n'était pas anormal pour la saison. Cette catastrophe a eu lieu au mois de décembre 1965, au moment d'effectuer une manœuvre pour un changement de position.

***

Pour faire suite aux explications précédentes concernant les travaux de forage en mer du Nord, il convient d'étudier la situation actuelle relative aux opérations dans chacun des sept secteurs du bassin (fig. 14).

FIG. 14. — *Répartition des concessions dans la zone britannique de la mer du Nord.*

Grande Bretagne

Ainsi qu'il a été indiqué à maintes reprises, les travaux de forage dans le secteur britannique commencèrent dès la ratification en juin 1964 de la Convention sur le plateau continental. Plus de 24 compagnies pétrolières participent aux explorations dans ce secteur du bassin et plusieurs gisements de gaz naturel ont été découverts. En ce qui concerne la première découverte par la compagnie BP à 65 km à l'est de Hull,

les conduites immergées entre le puits BP et Hull sont déjà installées et l'usage en Angleterre du gaz provenant du bassin est prévu pour l'été 1967.

Allemagne de l'Ouest

Ayant des revendications à formuler relative à la Convention sur le plateau continental, notamment concernant l'île de Borkum, les autorités gouvernementales ont néanmoins autorisé, dès 1964, les premiers forages dans le secteur allemand. Le premier puits ne révéla qu'un gisement de gaz avec une haute teneur en azote et les travaux furent immédiatement abandonnés. Plusieurs concessions dans le secteur allemand ont été octroyées à un consortium (onze compagnies pétrolières) et les explorations continuent.

Pays-Bas

Grâce à la découverte du vaste gisement de gaz naturel à Slochteren en 1959, les autorités néerlandaises décidèrent que la distillation de la houille n'était plus rentable. Plusieurs charbonnages hollandais, y compris un des plus modernes à Limburg, ne seront plus exploités. Une compagnie pétrolière néerlandaise (N.A.M.) assure l'exploitation et la distribution du gaz partout aux Pays-Bas et à tous les pays voisins.

En raison de la complexité de la loi néerlandaise relative à l'exploitation des ressources en dessous du plateau continental, aucun forage n'a été commencé dans le secteur néerlandais de la mer du Nord.

Danemark

Une compagnie danoise, A.P. Moeller & Cie, a une concession valable pendant 50 ans pour l'exploration et l'exploitation pétrolière au Danemark et dans le secteur danois de la mer du Nord.

Norvège

Étant donné que la Norvège et la Grande Bretagne se sont mises d'accord au sujet des droits norvégiens relatifs au plateau continental, les compagnies pétrolières sises en Norvège ont le droit d'exploiter les ressources du plateau jusqu'à la ligne médiane séparant les deux pays en question. Plusieurs concessions dans le secteur norvégien sont déjà exploitées.

France

Le secteur français du bassin est considéré comme trop au sud et les explorations françaises les plus importantes se trouvent surtout dans le golfe de Gascogne et en Méditerrannée. Un consortium français (3 compagnies pétrolières) participe activement aux travaux d'autres compagnies ayant des plate-formes de forage en mer du Nord.

Belgique

La même difficulté se trouve dans le secteur belge que dans le secteur français, à savoir, il est trop au sud. La compagnie belge Petrofina participe aux travaux d'autres sociétés pétrolières en mer du Nord, notamment dans le secteur britannique.

***

Il est utile, à titre d'information, de citer le rapport publié en 1965 par le Consortium allemand relatif aux travaux de forage en mer du Nord :

« Le grave accident qui est survenu à la plate-forme de forage britannique *Sea Gem* au large de la côte orientale anglaise vient d'attirer à nouveau l'attention sur les recherches pétrolières entreprises depuis deux ans sur le plateau continental de la mer du Nord. En effet, la catastrophe anglaise n'est que l'un des incidents qui nous font escompter toutes sortes de surprises lors de nos laborieux efforts en vue de ravir les secrets du fond de la mer.

« A vingt kilomètres au nord-ouest de Borkum, la plate-forme *Transocéan*, construite à Kiel, vient de commencer à creuser. A l'origine, cette plate-forme devait être mise en service un peu plus au large pour la prospection de la formation jugée la plus favorable. Mais on y avait trouvé un sous-sol si tendre que les essais de forage ont été interrompus. Même en équipant les piliers de « chaussures spéciales », la plate-forme menaçait toujours de s'enfoncer irrémédiablement, si bien qu'on dût se dépêcher de remorquer la plate-forme vers des lieux plus hospitaliers.

« Les différentes plate-formes sont constamment ravitaillées par hélicoptères. Ce sont ces derniers aussi qui procèdent à la relève des équipes. En 1965, on a enregistré 1 400 vols d'hélicoptères depuis la base d'Emden. Deux fois seulement, un appareil a dû se poser sur l'eau, mais dans toute l'année il n'y a pas eu d'incident sérieux.

« Pour 1966, les travaux de forage se poursuivront comme prévu. C'est uniquement lorsqu'on disposera d'une image exacte des formations de terrain qui se trouvent sous le fond de la mer que l'on pourra procéder à des forages de plus grandes profondeurs.

« Dans le périmètre de 18 400 kilomètres carrés appartenant au Consortium allemand, neuf forages ont été effectués jusqu'à présent. Les frais annuels de recherche, d'après le bilan relevé par le Consortium, s'élèvent à près de 200 millions de marks. Il faudra consacrer aussi cette somme approximative pour l'année 1966 et on ne peut pas encore dire avec précision où se trouvent les gisements de gaz et de pétrole et s'ils valent la peine d'être exploités.

PLATE-FORMES DE FORAGE EN MER DU NORD

Nom de la plate-forme	Modèle	Compagnie Pétrolière
Secteur Britannique		
" Mr. Cap "	Autoélévatrice	Amoseas & Shell
" Glomar IV "	Navire de forage	Gulf
" Neptune I "	Autoélévatrice	Shell
" Conoco I "	Plate-forme fixe	Continental & Rycade
" Sea Gem "	Autoélévatrice	BP
" North Star "	Autoélévatrice	Phillips
" Endeavour "	Autoélévatrice	Signal
" Ocean Prince "	Semi-submersible	Burmah
" Constellation "	Autoélévatrice	Arpet
" Mr. Louie "	Autoélévatrice	Amoco
" Sea Quest "	Semi-submersible	BP
Secteur Allemand		
" Hubinsel "	Plate-forme fixe	Mobil
" Herr Louie "	Autoélévatrice	DEA
" Transocean "	Autoélévatrice	Mobil
" Heerema "	Plate-forme fixe	Mobil
Secteur norvégien		
(Une plate-forme fonctionne déjà)		

V. — LA RECHERCHE OCÉANOGRAPHIQUE ET LE FORAGE EN MER

L'océanographie est une science relativement nouvelle, incorporée dans les facultés de sciences vers la fin du XIX^{e} siècle. Il serait donc prématuré de lui demander une solution à tous les problèmes qui se posent au moment où les ingénieurs commencent leurs travaux de forage en mer. Pourtant, si l'océanographie n'est pas une science très ancienne, elle est néanmoins en plein développement et au fur et à mesure qu'elle cernera ses propres problèmes, elle sera capable d'apporter une aide considérable aux compagnies pétrolières au cours de leurs travaux consacrés à la prospection et au forage en mer.

L'aide que les océanographes peuvent apporter aux ingénieurs n'est plus une question de volonté mais clairement une obligation car, de même que le navigateur à la voile, le technicien chargé d'installer une plate-forme de forage sur le plateau continental doit, lui aussi, lutter contre les vagues, les vents et les courants. Il est devenu presque banal de dire que l'amenuisement de nos réserves d'énergie fournies par les sources conventionnelles, tels que les charbonnages, nous oblige à nous tourner vers la mer. Cependant, tout en soulignant ce principe fondamental, nous ne saurions trop insister sur la nécessité de connaître notre « Laboratoire Terre » dont les sept dixièmes sont submergés, et de calculer combien les 1 370 millions de kilomètres cubes d'eau des mers contiennent ou recouvrent de richesses. Faire cet inventaire, c'est le rôle de l'océanographe.

Même à l'heure actuelle, l'océanographe dans son étude des paramètres marins est obligé de schématiser grossièrement, car les conditions marines réelles sont très complexes. En outre, les mouvements marins sont souvent causés par des forces très faibles, tel que la force de Coriolis, et il convient de prendre en compte aussi les forces de frottement. Mais en faisant ces études, on parvient à la conclusion très utile que l'essentiel des effets qui agissent sur la mer provient de l'atmosphère. On ne saurait donc exagérer l'affinité de ces deux sciences, l'océanographie et la météorologie. Les changements de température, de salinité et de densité de la mer dépendent largement de l'absorption du rayonnement solaire par des couches superficielles, des pertes de la surface par rayonnement, par évaporation, par échange convectif de chaleur entre l'air et la mer et par le frottement du vent.

C'est dans le domaine de l'instrumentation qu'il faut chercher les progrès les plus significatifs en ce qui concerne l'hydrographie et l'océanographie. Grâce à l'introduction du sondeur acoustique, en 1919, notre connaissance de la forme des fonds marins est devenue beaucoup plus complète et cet instrument est capable de nous fournir un profil continu du relief sous-marin. Dès lors, nous pouvons connaître la topographie des terres émergées et des terres immergées. Cependant, ce n'est qu'en 1948 que le savant suisse Auguste PICCARD (23) réussit à mettre au point son bathyscaphe qui lui permettrait dès lors de descendre jusqu'au fond de l'océan et ceci à n'importe quelle profondeur. Cette brillante réalisation donna à l'homme, pour la première fois, la possibilité d'explorer individuellement et d'une façon directe les fonds marins, y compris les fosses abyssales, ainsi que Jacques PICCARD (24) le démontra en 1960 en plongeant dans le bathyscaphe *Trieste* jusqu'au fond du Challenger Deep (10 916 m).

Les ingénieurs s'occupant de l'installation et de la sécurité des plate-formes de forage sur le plateau continental peuvent donc bénéficier de données assez précises relatives aux caractères des fonds marins. Mais dans quelle mesure peuvent-ils compter sur l'océanographie pour les prévisions dont ils ont besoin concernant la houle, la marée et les courants ? En ce qui concerne les marées, on trouve dans les *Tables des Marées* les prédictions des heures et hauteurs des pleines et basses mers dans divers ports. Sans sous-estimer la valeur de ces prédictions, relatives aux ports et aux régions côtières, il s'agit, n'oublions pas, de pouvoir prévoir la hauteur de la marée à un point bien déterminé au large de la côte où les plate-formes auto-élévatrices s'installeront et où les plateformes flottantes seront ancrées. Ce problème est en train d'être résolu, grâce à l'invention française d'un dispositif permettant d'enregistrer des fluctuations de pression de quelques centimètres d'eau sous des pressions hydrostatiques de 3 000 à 4 000 m et d'une périodicité de l'ordre d'un jour. Cet appareil sera adapté à un emploi autonome en le posant sur le fond de la mer. C'est ainsi que notre connaissance de la marée au large de la côte ne reposera plus sur une large extrapolation entre continents, et ne sera plus fondée sur des considérations purement théoriques.

L'appareil maréométrique français ne donne que l'aspect « vertical » de la marée, non son aspect « horizontal », également important. Il faudrait des observations prolongées afin que l'on puisse enregistrer isolément le seul courant des marées et le courant permanent, à l'exclusion des régimes transitoires liés à des vents et à des perturbations météorologiques. C'est dans cette intention qu'a été réalisée la bouée-laboratoire française, celle-ci devant être ancrée à mi-chemin entre Nice et la Corse. (Une note explicative sur le fonctionnement de cette bouée est placée en fin de chapitre).

Un autre facteur dont il faut toujours tenir compte concerne la variabilité de la température et de la densité de l'eau aux diverses profondeurs, surtout au thermocline (fig. 15) car la limite

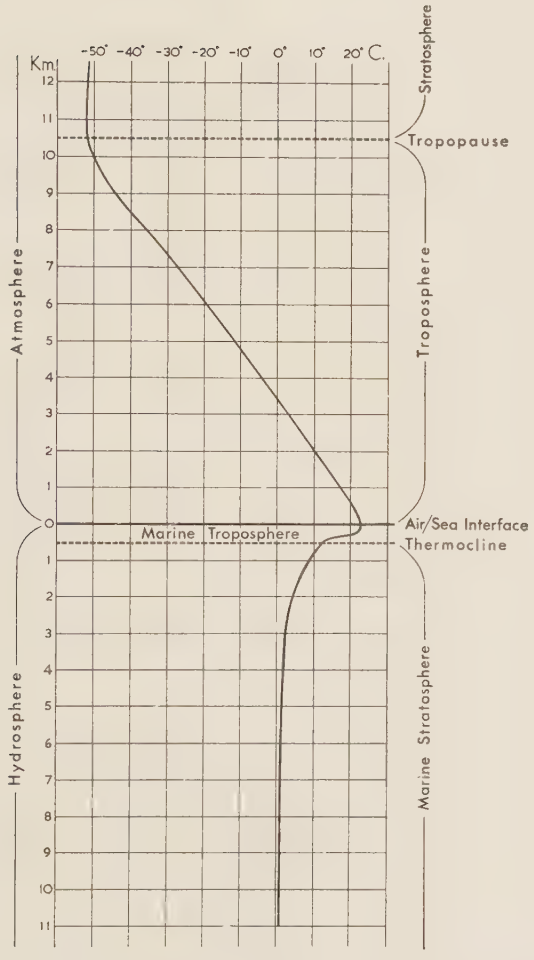

FIG. 15. — *La variation de la température en altitude et en profondeur.*

entre les eaux de température et de densité différentes présente des oscillations appelées *ondes internes*. C'est ce même thermocline qui sépare la troposphère marine de la stratosphère marine.

Il reste à étudier d'autres paramètres marins, notamment les courants et la houle, qui sont particulièrement gênants pour les travaux de prospection et de forage en mer. Malgré l'hypothèse que la vitesse des courants superficiels soit due aux vents il est plus exact de dire que ces courants sont dus au frottement de l'air sur l'eau, mais notre connaissance de cette force est insuffisante pour en déduire des conclusions précises. Il faudrait également étudier le profil du vent dans les couches inférieures aussi bien que le facteur de turbulence.

Rappelons-nous que l'essentiel des effets qui subit la mer provient de l'atmosphère et c'est à la météorologie qu'il faut avoir recours pour expliquer plusieurs phénomènes, tels que la houle et les ondes de tempête (« storm surges »). C'est effectivement en mer du Nord que de grosses perturbations de niveau, créées par des dépressions météorologiques très marquées se sont produites sur la rive sud et sud-ouest du bassin, comme aux Pays-Bas en 1953 et à Hambourg (estuaire de l'Elbe) en 1962. Ces *storm surges* qui sont très dévastateurs sont difficiles à prévoir. Ils sont souvent associés à des phénomènes de résonance et c'est surtout grâce à l'emploi de calculatrices que certains progrès ont été réalisés dans les méthodes utilisées pour leur prévision. Le bilan des dommages occasionnés aux plateformes de forage et à bien d'autres bâtiments (tels que les dragueurs de diamants au large de la côte sud-africaine) est déjà très lourd. Partout dans les régions battues par la houle ou dans les mers où les courants et les marées sont très importants, il faut donc prévoir pour toute construction marine un coefficient de sécurité d'autant plus grand que le navire ou la plateforme sera exposé à la violence extrême des conditions météorologiques en mer.

Tout en admettant la valeur de la recherche marine dans le domaine de la prévision météorologique, la question se pose si les moyens d'observation dans une région telle que la mer du Nord sont réellement adéquats. Le réseau des postes d'observation le long des côtes des pays limitrophes est relativement dense, mais il existe une grande lacune septentrionale, notamment la limite de la mer du Nord au 62e parallèle entre les îles Shetland et la Norvège. Étant donné que les *storm surges* se produisent dans cette région septentrionale avec un très fort vent du Nord, le météorologue dépourvu de toute observation synoptique pour cette partie septentrionale, large de 300 km, est sérieusement gêné lors de la préparation des prévisions pour les régions plus au sud, qui sont les plus menacées. Il faudrait donc combler cette lacune, soit en installant des bouées enregistreuses, soit en utilisant de nouveaux bateaux météorologiques (4) faisant partie du réseau international de *weather ships* de l'Atlantique nord, l'ensemble de ce réseau étant placé sous le contrôle des Nations Unies, en l'occurence, l'Organisation de l'Aviation civile internationale, dont le siège est à Montréal, au Canada (fig. 16).

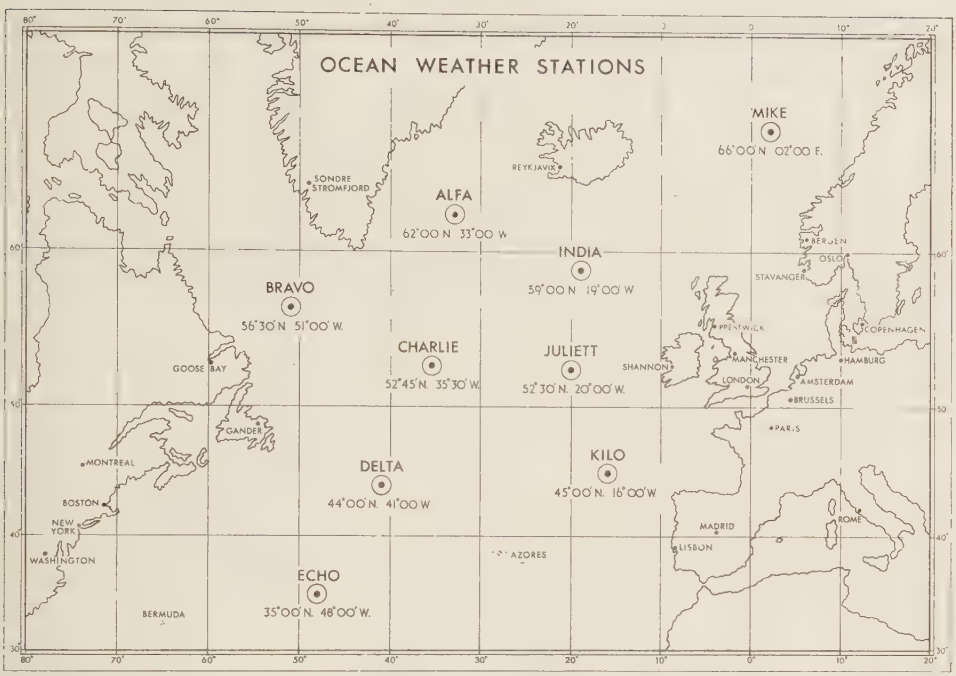

FIG. 16. — *Réseau des bateaux météorologiques* (*Atlantique nord*).

L'installation de beaucoup de postes d'observation « offshore » en mer du Nord est essentielle et il incombe aux autorités responsables de trouver la bonne solution. Néanmoins, les compagnies pétrolières ont d'excellentes possibilités de faire des observations elles-mêmes en engageant du personnel expérimenté pour travailler à bord des plateformes de forage et pour coordonner les recherches dans tous les domaines essentiels, tels que l'océanographie, la météorologie, la géologie, la sédimentologie et la planctologie.

La carte (fig. 17) qui montre le réseau des postes d'observation entourant le bassin de la mer du Nord, c'est-à-dire de trois de ses côtés, confirme que ce réseau est assez dense en ce qui concerne toutes les régions côtières. C'est incontestablement à la limite septentrionale et dans toute la partie centrale du bassin où il manque des postes d'observation, soit sous forme de bateaux ou de bouées météorologiques, soit sous forme de stations météorologiques automatiques. Pour faire preuve de leur bonne volonté de trouver une solution à cette pénurie d'observations météorologiques, tant pour la mer du Nord que pour le Golfe persique, les compagnies pétrolières ont créé des services météorologiques privés. Ces services sont responsables pour toute sorte de prévision dont les compagnies ont particulièrement besoin

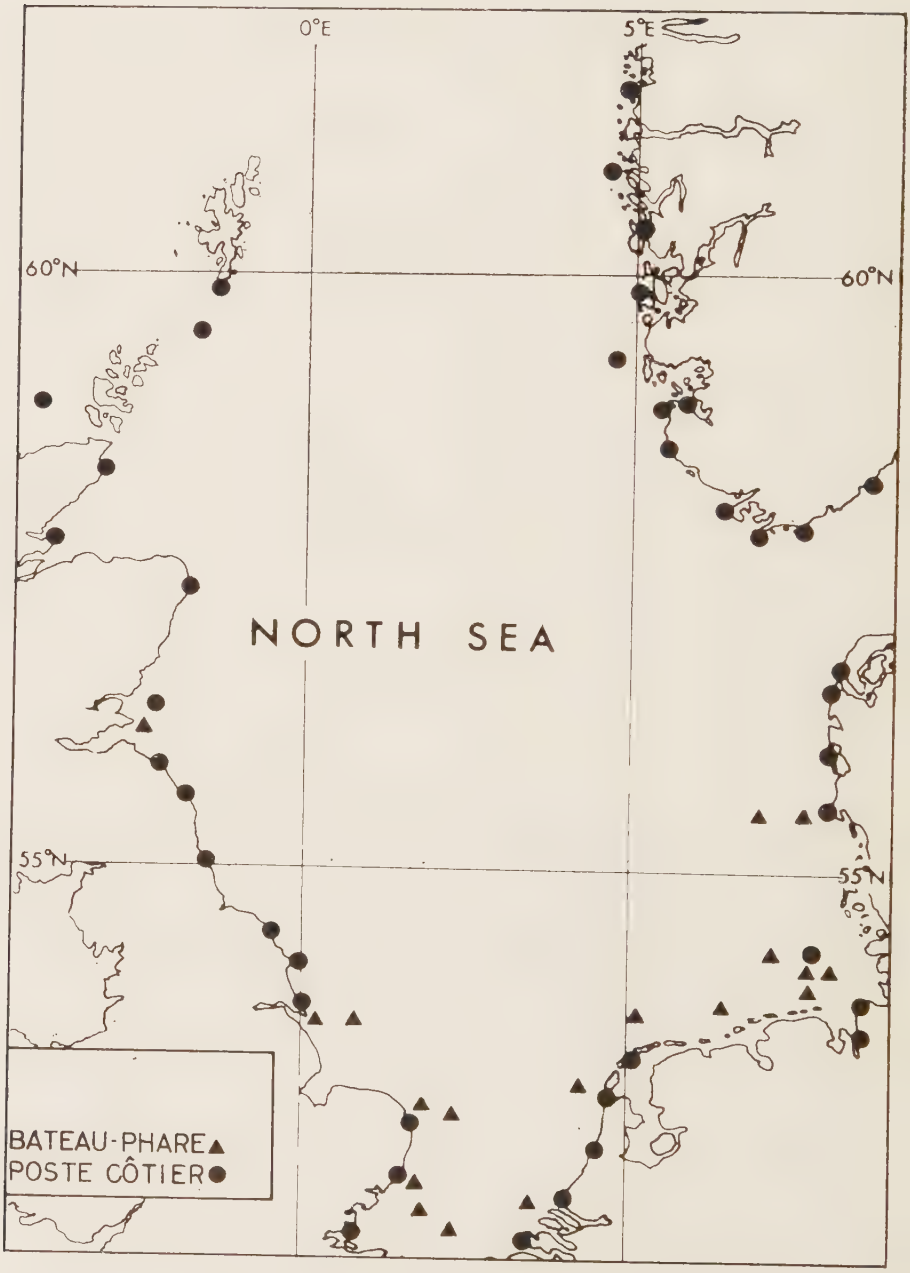

FIG. 17. — *Réseau des stations d'observation météorologique entourant le bassin de la mer du Nord.*

comme, par exemple, le régime des vents et des courants au moment d'un déplacement d'une plateforme de forage. Il s'agit donc d'un service entièrement privé et probablement temporaire qui restera sur place aussi longtemps que les compagnies le jugent utile.

Sur le plan de la recherche océanographique, il convient d'étudier également l'amplitude des marées. Grâce au Service hydrographique français et ses recherches entreprises à l'intention des sociétés responsables pour la construction de l'usine marémotrice de Saint-Malo (estuaire de la Rance), nous possédons actuellement des données très précises concernant les marées dans la Manche. Ces données se rapportent surtout aux eaux territoriales françaises au large des côtes bretonnes et normandes.

Les amplitudes des marées à la Rance (baie de Saint-Malo) se présentent ainsi :

Grandes marées d'équinoxe	13.50 m
Vive-eau moyenne	10.90 m
Marée moyenne	8.50 m
Morte-eau moyenne	5.40 m

Signalons aussi la célérité de l'onde de marée, entre Brest et Saint-Malo (embouchure de la Rance) : 90 km à l'heure.

La bouée laboratoire

La bouée laboratoire a été réalisée par le Musée océanographique de Monaco avec le concours de l'Office français de recherches sous-marines, dans le cadre d'un programme approuvé par le Comité d'exploitation des océans. La construction se fit à Nice. Elle sera employée pour la mesure des températures et des courants qui fluctuent sans cesse, comme la plupart des autres phénomènes marins. La continuité dans l'espace n'étant plus suffisante, il faut aussi et surtout prévoir un *enregistrement continu dans le temps*. C'est la raison d'être de la bouée laboratoire, navire océanographique fixe, simplifié, débarrassé de ses moyens de déplacement et de presque tout son équipage devenu inutile, mais doté d'une tenue de mer incomparable et de moyens d'observations spécialisés.

Ce laboratoire flottant comporte une *tête*, dominant la mer de 10 m et contenant le laboratoire, des enregistreurs, des logements pour quatre personnes et la machinerie. Elle est surmontée d'une plateforme de 60 m² où peut atterrir un hélicoptère. La tête est à la partie supérieure d'un long tube vertical de 60 m de longueur totale, s'enfonçant jusqu'à 52 m de profondeur. Le diamètre moyen de ce tube est de 2 m mais il comporte en son milieu un renflement de 3 m de diamètre contenant quatre étages de laboratoires, et à l'extrémité inférieure un autre renflement important contenant plus de 100 tonnes de lest qui assure sa stabilité et qui le rend insensible aux plus fortes vagues de la Méditerranée.

Un ascenseur de 35 m de haut relie la tête aux laboratoires sous-marins. Les approvisionnements et les vivres sont suffisants pour plus de trois mois, mais le ravitaillement se fera normalement toutes les deux semaines. La tenue de la bouée sur le fond sera assurée par des câbles de 45 mm de diamètre et d'au moins 2 500 m de longueur (l'emplacement choisi pour la bouée étant situé à 100 km des côtes, par 2 500 m de fond). Les câbles sont tressés en nylon et polypropylène.

Plus de vingt hublots spéciaux répartis sur la partie immergée permettront aux biologistes de surveiller directement la vie des premiers 50 m de la mer. Des robinets permettant le prélèvement d'échantillons de l'eau de mer à plusieurs niveaux dans le tube.

La bouée laboratoire constitue en pleine mer l'équivalent d'une station météorologique mais tournée vers les phénomènes de l'Océan. On peut déjà prévoir l'usage de semblables bouées pour les recherches *offshore* et notamment dans la mer du Nord où le nombre de plateformes de forage augmente presque tous les mois.

VI. — LA CANALISATION ET LA POSE DE CONDUITES IMMERGÉES

La pose de conduites pour le transport terrestre de pétrole brut ou de gaz naturel sous pression a donné naissance à des techniques depuis longtemps perfectionnées et appliquées dans plusieurs pays, plus particulièrement dans les régions désertiques du Moyen-Orient et de l'Afrique du Nord. Dès le commencement du forage en mer on a essayé d'adapter ces techniques aux conditions beaucoup plus difficiles auxquelles on se heurte lorsqu'il s'agit de poser les conduites sur le fond de la mer, ou plus précisément sur le plateau continental dont la profondeur maximum est de 200 m.

Pour plusieurs raisons, l'installation des conduites dans la mer du Nord pose des problèmes particulièrement difficiles auxquels l'ingénieur doit faire face, notamment :

a) Conditions météorologiques exceptionnellement sévères (y compris les courants marins);

b) Grand nombre d'épaves;

c) Mines (de la guerre mondiale);

d) Les pêcheries;

e) Intense navigation maritime.

Il convient d'examiner chacune de ces difficultés en commençant par la météorologie :

a) Aussi longtemps que les opérations de raccordement des conduites seront réalisées à bord d'un bateau classique, elles seront assujetties à tous les délais et incertitudes occasionnés par les conditions météorologiques dont la sévérité dans la mer du Nord est notoire. Des prévisions météorologiques très détaillées et d'une fréquence plus que normale sont indispensables et des pronostics relatifs à la houle, au vent et aux rafales seront aussi essentiels que les renseignements concernant les courants. A défaut de prendre toutes ces précautions, les compagnies pétrolières risquent de perdre leur équipement et même, beaucoup trop souvent, des membres de leur personnel technique dont plusieurs ont trouvé déjà la mort au cours d'opérations en haute mer.

En ce qui concerne les courants, leur effort hydrodynamique sur les conduites sous-marines est un facteur important et l'ingénieur

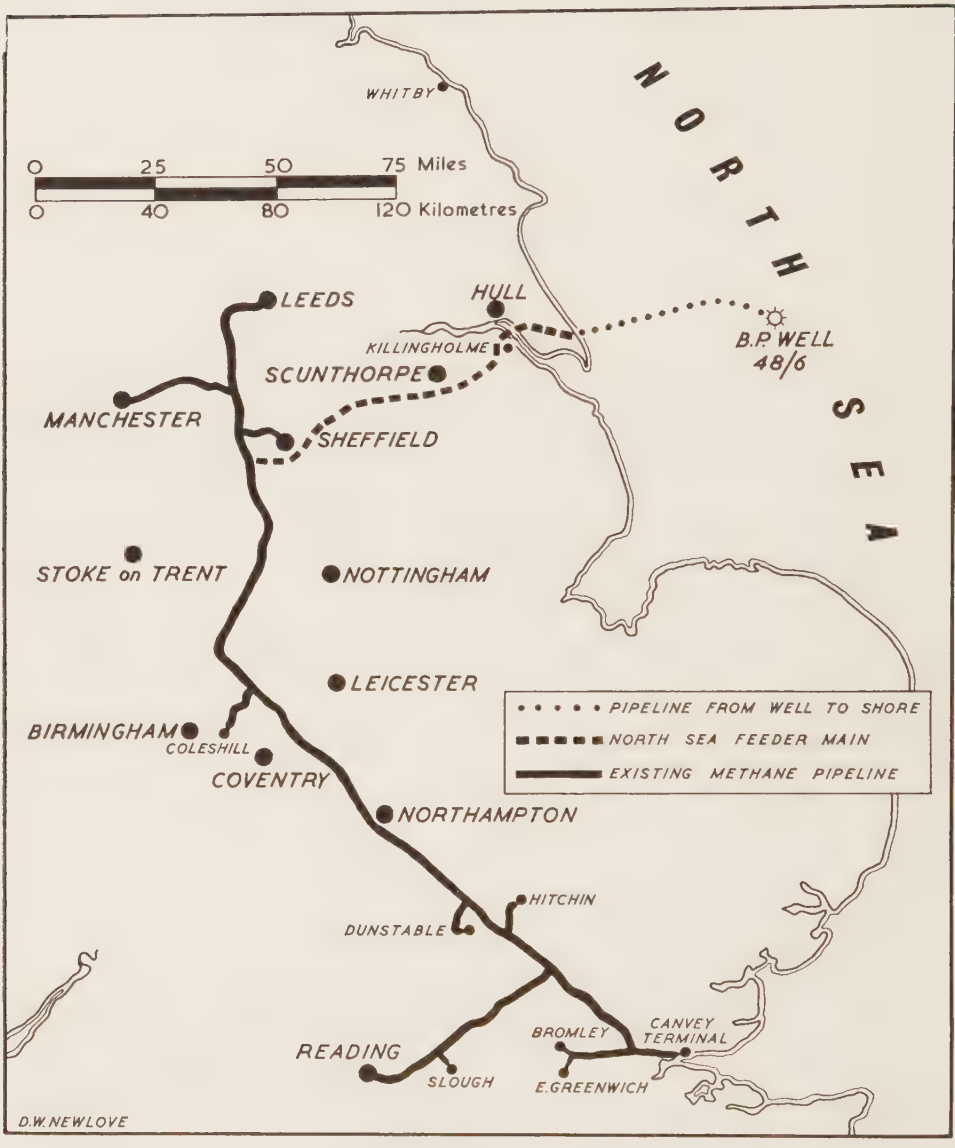

FIG. 18. — *Le Réseau national de gazoducs en Grande-Bretagne (methane pipeline).*

s'intéresse à tout courant supérieur à 0,5 nœud, quoiqu'il soit rare que de tels courants affectent une tranche d'eau supérieure aux 100 ou 150 m de surface. Dans cette tranche supérieure il peut y avoir soit un courant traversier qui aurait tendance à faire dévier l'axe de pose, soit un courant

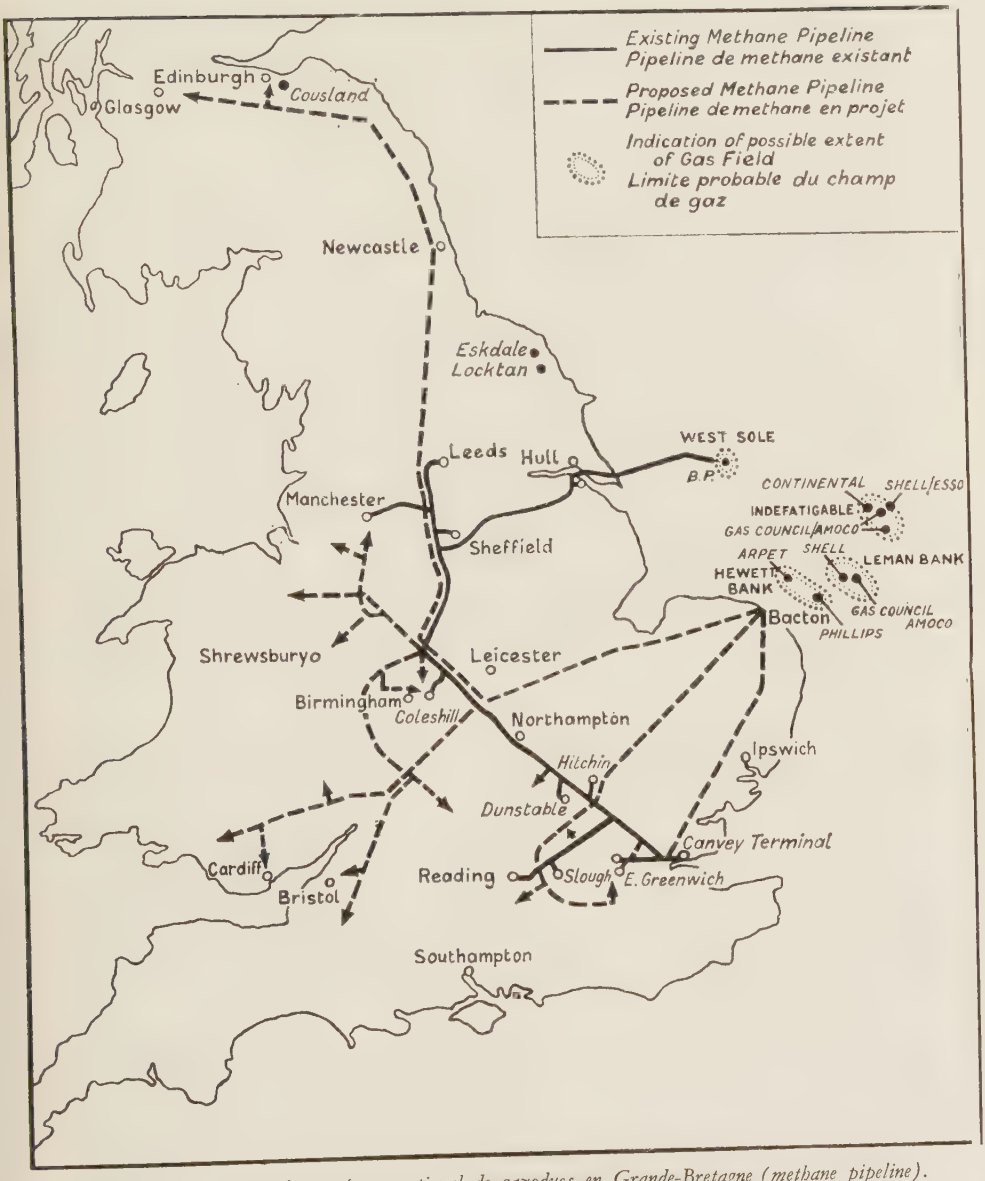

Fig. 18 *bis* — *Le futur réseau national de gazoducs en Grande-Bretagne (methane pipeline).*

parallèle à l'axe de pose qui entraînerait une variation de la tension. Tout courant oblique doit être défini par ses deux composantes dont on évalue séparément les effets.

b) Les épaves sont particulièrement nombreuses dans tout le bassin de la mer du Nord dont beaucoup ne sont pas repérées sur les cartes

nautiques. Comme pour tout obstacle, la ligne suivie par la conduite sous-marine doit éviter ces épaves en les contournant, ce qui entraine chaque fois des délais et des dépenses supplémentaires. C'est une raison de plus pour entreprendre un levé systématique du fond avant de commencer les travaux destinés à la pose de la conduite.

c) Contrairement à ce que nous avons l'habitude de croire, les mines et d'autres engins explosifs sont encore assez nombreux dans le bassin de la mer du Nord. Ici il faudrait envisager une opération de dragage du fond sur une largeur considérable tout le long de l'axe choisi pour la canalisation.

d) Dans plusieurs régions où les travaux de forage en mer avaient déjà commencé, les ingénieurs ont dû tenir compte des plaintes portées par les pêcheurs voulant protéger leurs droits. Ces réclamations se sont produites non seulement en raison des explosions en mer faites au cours de l'exploration sismique, mais aussi d'après la pose des conduites sur le fond de la mer qui risque d'abîmer les filets et les chaluts des pêcheurs — toujours exceptionnellement nombreux en mer du Nord. Par conséquent, il est dorénavant nécessaire d'enterrer les conduites dans le lit de la mer, normalement à une profondeur de 1 m 50.

e) La navigation est particulièrement intense dans la mer du Nord et tout navire ou plate-forme stationnaire pourrait nécessiter un détournement du trafic maritime normal. Tous ces détournements doivent être contrôlés et coordonnés, surtout par mauvais temps, pour éviter toute collision.

Un levé hydrographique précède chaque installation de conduites immergées, car celle-ci est généralement considérée comme une extension du réseau terrestre de la canalisation principale. Normalement, la conduite est fabriquée à terre en tronçons, lancée en mer et remorquée en flottaison jusqu'à l'emplacement où il sera nécessaire de réaliser la jonction à bord d'un navire spécialement aménagé. La même procédure est suivie pour chaque raccordement, un remorqueur se trouvant toujours en tête pour pouvoir guider la pose de la conduite sur l'axe choisi. Pour l'ensemble de la zone de pose les déplacements et les manœuvres des navires sont effectués sous le contrôle d'un réseau de radionavigation. (fig. 20).

La solution déjà acceptée pour canaliser le gaz naturel trouvé en mer du Nord à 65 km à l'est de Hull (Yorkshire) revêt un intérêt spécial, car elle servira de modèle ou de prototype pour tous les projets de canalisation nécessitant la pose de conduites sous-marines dans une région où les obstacles sont des plus sérieux. Ainsi qu'il est indiqué dans la carte (fig. 18) la conduite arrive sur la côte britannique à Easington, près de Hull, traverse le Humber et les plaines du Lincolshire pour se relier aux environs de Sheffield au réseau national (le *gas grid*), long de 560 km, qui joint la région londonnienne et le centre industriel de Leeds.

Etant donné que le gaz naturel de Groningue est suffisant pour approvisionner toute la Hollande et ses voisins, un réseau de gazoducs

a été installé qui couvre déjà tout le territoire des Pays-Bas (fig. 19). La Belgique, le Luxembourg et la France n'ont pas hésité à participer à l'installation de leurs gazoducs pour faire jonction avec le vaste réseau hollandais et nous ne saurions exagérer l'importance de ces réalisations

Fig. 19. — *Le réseau national de gazoducs aux Pays-Bas (Slochteren gaz)*

par rapport à l'économie de tous ces pays. Selon les dernières nouvelles, la Suisse importerait dans un proche avenir du gaz naturel hollandais qui arriverait à Bâle par les canalisations allemandes. Le chiffre de 2 milliards de m³ a été avancé, 250 millions de m³ devant représenter

la première livraison. Le gaz naturel serait retransformé à Bâle pour servir l'industrie suisse.

Souvent des puits de pétrole donnent également du gaz naturel. L'on ne saurait trop apprécier la valeur de ce gaz naturel, car il peut servir de carburant (bien supérieur au gaz de charbon) ou être la source

FIG. 20. — *Réseau de stations pour la Radio-navigation en mer du Nord.*

première de plusieurs produits chimiques. Sous forme de liquide, ce gaz est facile à transporter ou par voiture-citerne ou par bateau (bateau-méthanier). Depuis plusieurs années des bateaux-méthaniers transportent du gaz liquides de l'Afrique du Nord (gisement Hassi R'Mel au Sahara) en France et également en Angleterre où un port spécialement aménagé se trouve à Canvey Island, à l'embouchure de la Tamise (fig. 18). Canvey Island est donc le terminus sud du réseau méthanier national en Grande-Bretagne qui servira pour canaliser le gaz naturel aux centres industriels, tout particulièrement dans les « Midlands » d'Angleterre.

En ce qui concerne la distribution nationale du méthane, l'excellent exemple des Pays-Bas (fig. 19) sera suivi en Grande Bretagne. Le réseau de pipe-lines pour le méthane déjà installé en Angleterre dessert huit des douze centres de distribution régionaux (*Regional Gas Boards*). Ce réseau sera bientôt prolongé afin de desservir tous les *Gas Boards*, notamment ceux qui se trouvent en Ecosse et aux Pays de Galles.

La figure 20 montre le système de radio-navigation installé récemment en mer du Nord.

VII — LA QUESTION JURIDIQUE

Le Droit de la Mer et son Application à la mer du Nord

Avant 1958, date à laquelle se tint à Genève la Conférence des Nations Unies sur le droit de la mer, ce droit relatif au plateau continental n'avait pas été clairement défini. Pourtant plusieurs États riverains avaient déjà revendiqué le droit d'exploiter les ressources du plateau continental aux environs de leur territoire national et ceci sans protestation de la part d'autres États de la même région. Mais après la deuxième guerre mondiale, plusieurs États sont devenus beaucoup plus exigeants en demandant des droits d'exploitation sur le plateau continental dans des régions bien au-delà de la mer territoriale, large de 3 milles marins (actuellement de 12 milles marins). Certains États avaient revendiqué des droits allant jusqu'à 200 milles marins de la côte.

Pour faire face à ces revendications massives, la Commission des Nations Unies sur le droit international s'est réunie en 1953, et après de longues délibérations, elle adopta un projet de loi sur le plateau continental. Cinq ans plus tard se tint à Genève la Conférence des Nations Unies sur le droit de la mer, au cours de laquelle la Convention sur le plateau continental fut adoptée pour entrer en vigueur à la suite de sa ratification par vingt-deux États. La 22e ratification (celle du Royaume Uni) a été reçue par les Nations Unies le 10 juin 1964.

La liste des 22 États est la suivante :

Afrique du Sud
Australie
Bulgarie
Biélorussie R.S.S.
Cambodge
Colombie
Danemark
États Unis
Guatémala
Haïti
Israël
Madagascar
Malaisie
Pologne
Portugal
Roumanie
Royaume Uni
Sénégal
Tchécoslovaquie
Ukraine R.S.S.
U.R.S.S.
Vénézuela

L'Appendice contient le texte français de la Convention — les textes anglais, chinois, espagnol, français et russe font également foi — et ce texte est commenté ci-dessous :

En principe, seuls les États ayant déposé un instrument de ratification auprès du secrétaire général de l'Organisation des Nations Unies sont liés par la Convention sur le plateau continental (28), mais celle-ci n'est certainement pas sans importance en ce qui concerne les autres États. Ce fait est d'autant plus évident au fur et à mesure que l'on compare la rédaction de la Convention elle-même et les principes énoncés depuis très longtemps dans le cadre du droit de la mer, Autrement dit, la Convention sur le plateau continental (1958) reflète dans ses grandes lignes les bases de la loi existante relative à ce plateau.

La Convention sur le plateau continental prescrit notamment : a) les critères selon lesquels les États riverains ont le droit d'exploiter les ressources du plateau continental; b) la profondeur limite de ce plateau en ce qui concerne son exploitabilité, et c) la méthode de déterminer la superficie des zones d'exploitation du plateau continental appartenant aux divers États riverains et la délimitation des dites zones. Étant donné que la largeur du plateau continental est très variable (entre 5 et 250 milles marins) l'article premier de la Convention définit comment l'expression « plateau continental » est utilisée pour désigner :

a) le lit de la mer et le sous-sol des régions sous-marines adjacentes aux côtes, mais situées en dehors de la mer territoriale, jusqu'à une profondeur de 200 mètres ou, au-delà de cette limite, jusqu'au point où la profondeur des eaux surjacentes permet l'exploitation des ressources naturelles des dites régions;

b) le lit de la mer et le sous-sol des régions sous-marines analogues qui sont adjacentes aux côtes des îles.

L'article 2 concerne la souveraineté. Il précise dans quelle mesure l'État riverain exerce des droits souverains sur le plateau continental aux fins de l'exploration et de l'exploitation de ses ressources, notamment les ressources minérales et autres ressources non-vivantes du lit de la mer et du sous-sol.

La souveraineté est néanmoins strictement limitée et les droits de l'État riverain ne portent pas atteinte au régime des eaux surjacentes en tant que haute mer, ni à celui de l'espace aérien au-dessus du plateau continental. Aucune activité d'exploration ou d'exploitation ne doit gêner la navigation, la pêche ou la conservation des ressources biologiques, mais l'État riverain a le droit de construire et d'entretenir les installations nécessaires pour trouver et utiliser les ressources naturelles du plateau continental. Autour de chaque installation sera établie une zone de sécurité pouvant s'étendre jusqu'à 500 mètres mesurés à partir de son bord extérieur.

Un des aspects les plus intéressants de la Convention concerne la délimitation des zones du plateau continental appartenant à chaque État riverain. A défaut d'accord entre deux États dont les côtes se font

face, la délimitation est constituée par la ligne médiane (fig. 21) qui est équidistante des lignes de base à partir desquelles est mesurée la largeur de la mer territoriale de chacun des États riverains. La Norvège n'a pas encore ratifié la Convention car elle demande que la ligne médiane soit calculée à partir de l'isobathe de 200 mètres qui représente la limite extérieure de la fosse de Norvège (profonde de 800 m et pour cette raison ne faisant pas partie du plateau continental). Est également en litige la délimitation du plateau continental entre l'Allemagne et les Pays-Bas aux environs de l'île de Borkum. C'est effectivement en étudiant la conformation des côtes de l'Allemagne et des Pays-Bas que l'on se rend compte de l'influence de celles-ci en ce qui concerne les zones octroyées à ces deux pays. La côte allemande étant concave face à la mer diminue de beaucoup la superficie de la zone allemande du plateau continental. En revanche, la côte des Pays-Bas étant convexe face à la mer augmente considérablement sa zone d'exploitation du plateau. En raison de ces particularités géographiques, la zone néerlandaise est approximativement quatre fois plus grande que la zone allemande.

Chaque État riverain a la possibilité (indépendamment de la Convention) de donner par concessions, le droit aux compagnies pétrolières d'explorer et d'exploiter les ressources naturelles dans la zone qui lui appartient. Dans la zone britannique, des concessions ont déjà été réparties entre plus de trente compagnies, les unes nationales, les autres étrangères (souvent des consortiums de deux ou plusieurs compagnies).

La mer du Nord est la première région à laquelle la délimitation du plateau continental au moyen de la ligne médiane ait été appliquée, exception faite du golfe Persique où le même système est en vigueur. Comme on vient de le voir, deux questions sont en litige; celle de la fosse norvégienne et celle de l'île de Borkum. Selon les dernières nouvelles, les gouvernements de la Grande Bretagne, de la Norvège et du Danemark se sont mis d'accord pour accepter les lignes médianes entre ces trois pays telles qu'elles sont indiquées sur la carte (fig. 21). En général, la solution de la ligne médiane paraît satisfaisante dans le cas de la mer du Nord et son application à d'autres régions semblables mérite toute l'attention des pays intéressés.

Étant donné que les techniques d'exploitation font actuellement des progrès considérables, la définition de l'expression « plateau continental » selon l'Article premier de la Convention de 1958 est d'une importance toute particulière et surtout la partie soulignée de l'Article citée ci-dessous :

> « Aux fins des présents articles, l'expression « plateau continental » est utilisée pour désigner : a) le lit de la mer et le sous-sol des régions sous-marines adjacentes aux côtes, mais situées en dehors de la mer territoriale, jusqu'à une profondeur de 200 m *ou, au-delà de cette limite, jusqu'au point où la profondeur des eaux surjacentes permet l'exploitation des ressources naturelles des dites régions ;*

FIG. 21. — *La délimitation du plateau continental par lignes médianes*

Même à l'heure actuelle et sur la base des critères de la Convention de 1958, il a été estimé que le plateau continental de l'ensemble des mers contient 50 milliards de tonnes de réserves pétrolières. Encore 40 autres milliards de tonnes se trouvent probablement cachées en dessous des fosses profondes de ce plateau, c'est-à-dire au-delà de la limite de profondeur des plateformes de forage actuelles. Néanmoins, le progrès de l'industrie pétrolière est tellement rapide que même ces fosses profondes seront bientôt accessibles aux foreuses modernes. Dès que ces opérations seront possibles la Convention donne le droit à l'État riverain d'exploiter les ressources naturelles trouvées au-dessous du lit de la mer, celle-ci ayant une profondeur supérieure à 200 mètres.

En conclusion, il faut signaler que le Protocole attaché à la Convention sur le plateau continental donne aux États parties à ladite Convention le droit, à titre facultatif, d'avoir recours en cas de litige à la Cour Internationale de Justice à La Haye.

VIII. — LES CONCESSIONS

En ce qui concerne l'octroi de concessions aux autorités exploitantes, nous pouvons concevoir la répartition de la mer du Nord selon le principe de la ligne médiane comme la première étape de cette opération. Cette même étape détermina l'établissement des limites géographiques des sept secteurs appartenant aux sept pays qui bordent la mer du Nord (fig. 21), dont la base était la Convention sur le plateau continental signée à Genève en 1958.

Pour la deuxième étape, c'est-à-dire la répartition des concessions dans le sept secteurs, chaque pays riverain est libre à trouver la solution qui lui convient le mieux. Seules la Grande Bretagne, la Norvège et l'Allemagne fédérale se sont décidées d'aller de l'avant et d'octroyer des concessions aux sociétés pétrolières qui leur en faisaient la demande. A titre d'exemple, les principes suivis par le gouvernement britannique en ce qui concerne la superficie de chaque concession dans son secteur sont résumés ci-dessous :

L'unité de mesure en Grande-Bretagne étant le « mile », la superficie du secteur britannique du bassin est approximativement 100 000 « square miles ». Cette superficie est subdivisée en blocs, et chaque bloc représente 100 « square miles » qui correspond à un « carré » dont les côtés Est et Ouest s'étendent sur 1/6 d'un degré de latitude, et les côtés Nord et Sud sur 1/5 d'un degré de longitude (fig. 9). Chaque bloc contient 30 (5 × 6) subdivisions ou concessions, numérotées de cette façon : Bloc No. 48, Subdivision No. 6, est nommée Concession No. 48/6. Tout d'abord, les concessions sont octroyées aux sociétés pétrolières à tarif réduit pour une période de six ans, la septième année ce tarif est plus que doublé et continue d'augmenter rapidement d'année en année. Ce système a été conçu pour encourager les compagnies à exploiter les ressources existantes le plus rapidement possible. Dès le moment où du pétrole ou du gaz sera découvert, 12 1/2 % de sa valeur doit être versée au gouvernement par la société pétrolière en cause.

Or, toujours dans le secteur britannique, chaque société pétrolière est libre de formuler une demande au Ministère responsable pour n'importe quelle concession et pour un nombre illimité de concessions. A la réception de toutes les demandes, le Ministère, s'il le juge utile, accorde la concession au demandeur ou, dans le cas de plusieurs deman-

des pour une seule et même concession, il choisit le demandeur auquel la concession sera accordée. Ainsi que nous l'avons déjà indiqué, les sociétés travaillent indépendamment pour faire les levés magnétiques, gravimétriques et sismiques; leurs demandes de concession sont formulées individuellement et il est très intéressant de constater que non moins de 8 demandes furent transmises au Ministère à l'égard de certaines concessions, notamment dans les blocs 48 et 49 au large des côtes du Yorkshire et du Lincolshire. C'est effectivement dans ces blocs 48 et 49 que nous trouvons actuellement tous les puits ayant déjà fourni ou du gaz naturel ou du pétrole (fig. 9), donc une vindication remarquable des méthodes couramment employées pour déceler les gisements pétrolifères. Également remarquable est la répartition de ces puits sous forme d'un cercle; serait-il possible que ce cercle représente l'emplacement d'un vaste dôme ou anticlinal semblable à celui de Groningue? Nous le saurons probablement dans un avenir très proche.

Dans les secteurs allemand et norvégien nous trouvons un système de répartition des concessions analogue à celui employé dans le secteur britannique. Le Norvège accorde des concessions d'une superficie plus grande que celle octroyée par le gouvernement britannique. Dans le secteur allemand la superficie des concessions est très variable, la plupart de celles-ci ayant été accordées surtout dans la zone côtière allemande.

Nous ne pouvons que regretter qu'aucune concession ne soit encore octroyée dans les quatre autres secteurs et d'autant plus lorsque nous pensons aux délais considérables occasionnés en Allemagne, en Grande Bretagne et en Norvège lors de l'octroi de concessions dans leurs secteurs respectifs. Ce sera un retard difficile à rattraper. Le grand avantage des trois pays ayant déjà déterminé la répartition des concessions est d'autant plus évident lorsque il est rappelé que chaque État riverain est en mesure, dès ladite répartition, de donner aux sociétés pétrolières nationales et étrangères le droit exclusif d'exploiter les ressources minérales dans le secteur qui lui appartient. En outre, étant donné le petit nombre de plateformes de forage actuellement disponibles en mer du Nord et le fait que ces plateformes sont louées à long terme par les sociétés pétrolières déjà exploitant les ressources des secteurs allemand, britannique et norvégien, la situation relative aux autres secteurs n'est guère favorable. Par contre, n'était-il possible de constater de pareils événements et de pareilles conséquences lors du début de l'exploitation des mines d'or du Yukon et de bien d'autres territoires riches en ressources minérales et soudain livrés à une exploitation intensive.

Malgré le succès des opérations de forage en mer du Nord, ce succès n'est encore à la portée de la plupart des sociétés qui participent aux explorations en cours. Nous voyons ici un des résultats de l'octroi de concessions accordées d'une façon aussi équitable que possible à toutes les sociétés qui en faisaient la demande.

IX. — LE STOCKAGE DE GAZ

Il est évident que la demande de gaz, et par conséquent la quantité de gaz qui doit être produite, varie considérablement à différents moments Il y a des variations journalières, des variations hebdomadaires, des variations saisonnières et de temps en temps des variations subites occasionnées par une baisse soudaine de la température. De ces quatre catégories de variation, les trois premières sont généralement prévisibles et peuvent être déterminées d'avance. Par exemple, il se peut que la pointe de la demande en gaz se produise un jour défini dans la semaine durant la mi-journée avec une autre pointe aux environs de 18 heures. Les samedis et les dimanches il y aura une plus faible demande en gaz quand la plupart des industries sont fermées.

La variation saisonnière s'étend sur une longue période de l'année et reflète les tendances saisonnières habituelles de la température atmosphérique et les effets de la période des vacances. Dans la plupart des endroits, la pointe saisonnière se situe au moment des temps froids de l'hiver, mais pendant la période des vacances l'affluence des vacanciers dans certains endroits crée souvent une pointe de demande durant l'été.

La quatrième catégorie de variation résulte d'une baisse subite et inattendue de la température, peut-être en dehors de la période de l'année durant laquelle une vague de froid est normale. En ce qui concerne la demande due aux trois premièrs types de variation, qui sont généralement de courte durée, on peut les compenser adéquatement en stockant le gaz dans les réservoirs habituels, et ce stockage aide à résorber les effets initiaux d'une baisse soudaine de la température.

Normalement les réservoirs de gaz sont capables de contenir 100 000 à 150 000 m^3 de gaz. Ainsi, peu de réservoirs sont tout à fait suffisants pour le stockage de gaz excédentaire, prélevé pendant le temps de faible pointe qui se produit le jour ou en semaine, en vue de le distribuer lors de la période où la demande est élevée. Pourtant les variations saisonnières qui se manifestent sur une longue période ne peuvent pas être régularisées par le stockage en réservoirs conventionnels, du fait de l'énorme quantité de gaz qu'il faudrait stocker pendant la saison de faible demande, par exemple l'été, afin de l'utiliser en période de forte demande. Stocker ce gaz supplémentaire réclamé

par l'industrie britannique en période hivernale demanderait près de 20 000 réservoirs additionnels. Ceci ne serait pas une solution pratique et c'est pour cette raison que des « peak load plants » (des usines spécialement créées pour l'écrêtement des pointes) deviennent de plus en plus nombreuses.

Ceci signifie que, cependant, à un endroit où la demande de pointe se produit en hiver, toutes les usines d'écrêtement de pointe devraient être fermées durant l'été. Il serait bien plus économique de faire fonctionner les usines habituelles à un rythme égal durant toute l'année, en mettant en stockage le gaz excédentaire produit l'été pour l'utiliser en hiver. Mais les réservoirs faits par l'homme ne sont guère pratiques et une autre solution consiste à voir si l'on ne peut pas utiliser des moyens naturels. Or, nous avons indiqué à maintes reprises l'importance de l'anticlinal — la structure géologique dans laquelle les couches de roches qui étaient originellement horizontales ont été poussées verticalement par des pressions latérales pour former une « colline » ou un « dôme ». Si cette structure se trouve au-dessus d'une couche dans laquelle du pétrole ou du gaz s'est formé, cet hydrocarbure aura émigré vers le haut dans le dôme en remplissant toutes les minuscules porosités dans les roches.

Si l'une des couches supérieures de l'anticlinal se compose de roches non poreuses et imperméables, il ne se produira pas d'autre émigration de pétrole ou de gaz, car ces hydrocarbures remplacent l'eau dans les porosités de la couche située sous la calotte imperméable, de telle façon que maintenant le pétrole ou le gaz occupe les porosités sous la calotte de l'anticlinal. Ceci représente la formation la plus fréquente où se trouvent les gisements de pétrole ou de gaz naturel. En maints endroits les anticlinaux se produisent sans avoir de formation de pétrole dans la couche inférieure, et dans ces cas les couches de roches poreuses sont encore remplies d'eau. Il est alors possible de convertir un tel anticlinal en un « champ artificiel de gaz » en implantant des puits à travers la calotte de roches imperméables du dôme et pénétrant dans les roches contenant de l'eau (l'aquifère).

Si le gaz est injecté par pompage dans ces puits, il déplacera l'eau contenue dans les porosités des roches, exactement de la même façon que celle qui se produit lors de la formation d'un champ naturel de gaz. Un tel champ de gaz créé artificiellement forme un stockage souterrain, et si la couche aquifère située dans l'anticlinal est assez importante, on pourra y stocker une grande quantité de gaz. Cinq ou six stockages souterrains de grande capacité, s'ils sont bien situés, pourraient, dans la période de demande de pointe de l'hiver, donner satisfaction à toutes les demandes en gaz (fig. 22).

L'opération de stockage ne sera guère différente de celle rencontrée dans les gisements de gaz naturel dans le Yorkshire. En effet, en Grande Bretagne on a entrepris depuis de nombreuses années l'exploration en vue de découvrir des structures adéquates, et quelques structures découvertes sont en ce moment en train d'être examinées de façon plus

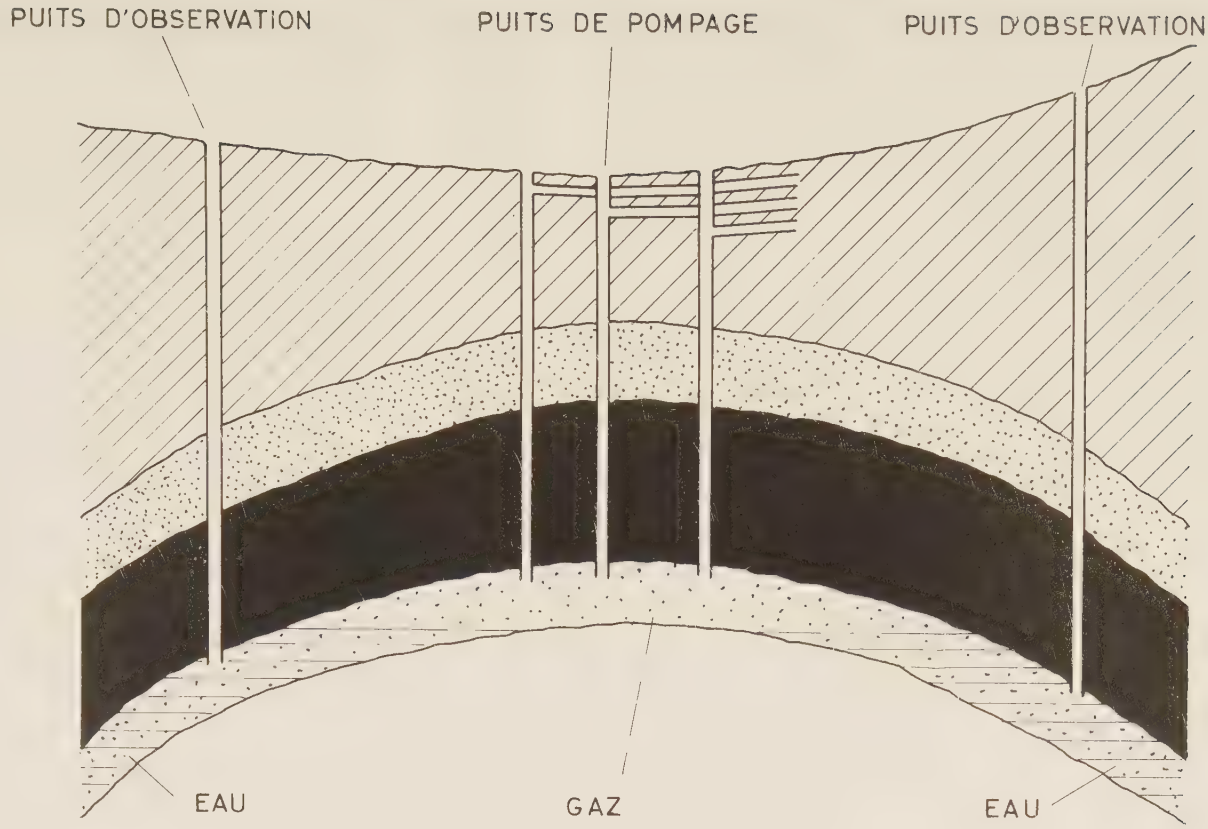

FIG. 22. — *Stockage de gaz dans un anticlinal (Aquifère).*

détaillée. Le stockage souterrain dans l'aquifère est celui qui convient le mieux pour procurer une grande quantité de gaz à un débit moyen pendant une longue période. Le débit d'évacuation dépend du nombre de puits implantés dans l'aquifère et, à moins d'implanter un grand nombre de puits qui s'avéreraient coûteux ce genre de stockage ne convient pas si l'on veut obtenir très rapidement une grande quantité de gaz.

Ce dernier type de demande de pointe, qui dépend probablement d'une brusque baisse de température, peut être satisfaite en stockant à l'état liquide du gaz naturel — un tel gaz liquéfié est importé d'Algérie par le Gas Council en Angleterre. Le gaz est liquéfié à une température voisine de — 162° C. et le froid intense du liquide est utilisé lors de la construction du réservoir souterrain.

En fait, la méthode consiste à geler par avance un cylindre de terre de diamètre et de longueur déterminés; on enlève la terre non gelée se trouvant à l'intérieur du cylindre et on recouvre la cavité par un toit hermétique au gaz et convenablement calorifugé. Les tuyaux sont installés à travers le toit pour remplir et évacuer le liquide. Les parois et le fond du cylindre de terre du réservoir restent très fortement gelés grâce au liquide très froid qu'il contient. Le liquide est évacué et peut être regazéifié dans les installations employées pour la regazéification du gaz naturel liquéfié d'Algérie, comme on le fait actuellement à Canvey Island où se trouve le terminus des bateaux-méthaniers qui font la navette entre le port d'Arzew (Algérie) et la Tamise.

Un réservoir de ce genre, de 40 m de diamètre et 40 m de profondeur, contiendrait 21 000 tonnes de gaz naturel liquéfié, équivalent à 11 millions de thermies. Deux réservoirs de ce genre sont presque achevés à Canvey Island et deux unités supplémentaires seront encore exécutées.

Des réservoirs souterrains du type « Canvey Island » réalisés dans d'autres endroits procureraient de larges quantités, et contrairement au type de stockage dans l'aquifère, le gaz provenant de stockages en terres gelées peut être fourni à un débit aussi rapide qu'il serait nécessaire pour faire face à n'importe quelle demande de pointe. De tels stockages sont peu onéreux à construire, en comparaison des stockages plus couramment employés en utilisant des réservoirs de métal calorifugé assez complexes que réclament les liquides à très basse température.

On devra encore mentionner un autre type de stockage pour le gaz. Depuis de nombreuses années le gaz a été stocké en un ou deux endroits dans des réservoirs sous haute pression. Ces réservoirs sont habituellement des cylindres relativement petits, horizontaux, aux extrémités en forme de dôme, dans lesquels le gaz est mis à une pression de 50 atmosphères et plus. A une telle pression on peut stocker 50 fois plus de gaz dans le même espace que le gaz stocké à pression normale, qui est seulement juste un peu plus d'une atmosphère.

Le stockage à haute pression dans les Pipelines.

L'apparition de longues canalisations principales dans les systèmes intégrés de transmission de gaz (parmi lesquelles, avec ses ramifications, la canalisation de 350 miles conduisant le méthane de Canvey Island à Leeds est l'une des plus importantes) transportant le gaz à haute pression a fourni un système de réservoir haute pression. Cela s'explique, car si on pompe le gaz dans ces longues canalisations à des pressions plus fortes que celles normalement requises pour faire écouler le gaz dans les tuyaux, une grande quantité de gaz est alors disponible dans les pipelines.

Cette méthode est connue sous le nom de « line-packing » et procure un stockage additionnel de gaz venant augmenter la capacité de stockages des gazomètres.

X — INFLUENCE DES RESSOURCES EN HYDROCARBURES DE LA MER DU NORD SUR L'ÉCONOMIE DU NORD-OUEST DE L'EUROPE

Dans les pays baignés par la mer du Nord — la Grande-Bretagne, la France, la Belgique, les Pays-Bas, la République fédérale allemande, le Danemark et la Norvège — se trouvent quelques-uns des centres d'activité économique les plus importants du monde. Leurs besoins en énergie paraissent insatiables, augmentant constamment d'un équivalent d'environ 40 millions de tonnes de charbon par année. Les besoins pourraient fort bien atteindre en 1975 un milliard de tonnes d'équivalent-charbon par année. Les sources d'énergie les plus importantes pendant les dix années prochaines seront probablement le pétrole et le gaz naturel, même lorsqu'on tient compte de l'exploitation continue du charbon et de l'accroissement rapide de la production d'énergie nucléaire (25).

La remarquable stabilité économique des pays situés au bord de la mer du Nord est un facteur extrêmement important pour l'exploitation d'hydrocarbures dans la région et la découverte d'autres grands gisements, tel que celui de Groningue, pourrait transformer l'économie de tous ces pays. Bien que, durant ces dernières années, la production locale de pétrole ait considérablement augmenté, l'Europe occidentale dépend, pour neuf dixièmes de ses besoins en pétrole brut, des producteurs extra-européens. Alors qu'antérieurement ces importations provenaient principalement de l'hémisphère occidental, l'Europe de l'Ouest couvre depuis la fin de la guerre la plus grande partie des besoins de ses raffineries par le pétrole brut en provenance du Moyen-Orient, et notamment du golfe Persique. Les gisements pétroliers du Moyen-Orient constituent 60 % des réserves de pétrole connues actuellement et leur production est constamment en hausse. Les gisements exploités à l'heure actuelle ne représentent cependant qu'une fraction des gisements détectés dans ces pays.

Qu'il s'agisse de moteurs à pistons ou de turbines à gaz, presque tous les moyens de transport nécessitent pour leur bon fonctionnement des carburants de qualité plus ou moins supérieure dérivés du pétrole brut. Ce pétrole brut est amené par des bateaux-citernes vers les pays d'Europe occidentale où il est raffiné. Or, si l'on trouvait de grandes

quantités de pétrole dans le bassin de la mer du Nord, il n'y aurait aucune difficulté à le raffiner dans le voisinage immédiat. Les pays de l'Europe occidentale ont maintenant un potentiel de raffinage bien supérieur à leurs propres besoins et on construit encore à l'heure actuelle de nouvelles raffineries pour répondre à la demande croissante en pétrole, que ce soit pour l'exportation ou pour la consommation sur place. Ce dont on a extrêmement besoin maintenant, c'est d'un approvisionnement abondant de pétrole brut d'origine européenne.

Selon les statistiques de la production du pétrole en 1962, l'Europe est toujours très en retard par rapport aux autres régions :

PRODUCTION EN 1962
(Millions de barils)

Région	*Quantité*	*Pourcentage* (100 % = production mondiale)
Amérique du Nord	9073	35,71 %
Moyen-Orient	6277	24,71 %
Amérique latine	4287	16,87 %
Bloc URSS	4105	16,16 %
Afrique	724	2,85 %
Extrême-Orient	594	2,34 %
Europe occidentale	347	1,36 %

Grâce aux nouvelles techniques employées couramment dans plusieurs pays, il est possible de forer jusqu'à une profondeur de plus de 7000 m, même au-dessous du plateau continental. Cette possibilité a déjà montré que les réserves mondiales de pétrole sont beaucoup plus vastes que l'on ne pensait et c'est effectivement en forant à des profondeurs au-delà de 3000 m que l'on espère trouver en Europe occidentale des gisements de pétrole et de gaz naturel. A l'heure actuelle, les travaux de forage en mer du Nord se pratiquent souvent près de la côte et chacun a la possibilité de voir et d'étudier sur place les techniques les plus modernes. En connaissance de cause, chacun comprendra de mieux en mieux ce que signifie pour son pays la découverte locale d'importants gisements de pétrole ou de gaz. Dans son journal il lira souvent que la prospérité de son pays dépend en large mesure de ces découvertes et l'influence de celles-ci par rapport au commerce national et international.

C'est surtout dans le secteur britannique de la mer du Nord que le forage en mer est actuellement en plein essor, et tout ce secteur qui

représente la moitié du bassin a été divisé en zones ou carrés (fig. 14) dont chaque côté mesure 10 milles marins (100 milles carrés représentent approximativement 250 km²). Quelques vingt-quatre compagnies pétrolières ont déjà demandé des concessions dans le secteur britannique et il est très significatif que plusieurs compagnies aient choisi les mêmes zones, notamment au large des côtes du Yorkshire et du Lincolnshire. Que leur choix soit justifié, cela semble évident, car c'est effectivement à 65 km au large du Yorkshire que la compagnie BP a découvert le premier gisement important de gaz naturel; c'est dans la concession N° 48/6.

Les compagnies suivantes participent aux travaux de forage dans le secteur britannique (les chiffres entre parenthèses indiquent le nombre de concessions déjà accordées à la compagnie en question) :

BP Petroleum Development (22)
Burmah North Sea Group (26)
Shell Company of U.K. et Esso Petroleum Company (75)
Gas Council Amoco Group (36)
California Oil Company/Texaco North Sea U.K. (24)
Mobil Producing North Sea (14)
Philips Petroleum Group (17)
Gulf Oil (Great Britain) (22)
Continental Oil (U.K.) (6)
Total Oil Marine Group (7)
Arpet Group (30)
Signal Oil and Gas Group (5)
Home Oil of Canada (17)
Rio Tinto/Hamilton Group (3)
North Sea Selection Co. (11)
Place Oil and Gas Co. (U.K.) (13)
Placid Oil (G.B.) (13)
Whitehall Petroleum (4)
Canadian Industrial Gas (U.K.) (1)
Trinitad Canadian Oils (1)
Whiterock Oil and Gas (2)
Monsanto Chemicals (1)

Il n'est pas exclu que cette première découverte de gaz naturel dans le bassin de la mer du Nord soit liée aux vastes gisements de Gromingue — la plus grande découverte jamais faite par l'industrie pétrolière en Europe. Étant donné l'énergie que contient ce gaz naturel néerlandais, énergie qui est près de trois fois l'énergie totale de toutes les réserves en pétrole de l'Europe occidentale, on ne saurait négliger son importance. En Amérique du Nord, le gaz naturel fournit 32 % des besoins en énergie, en URSS, il en fournit 15 %, mais en Europe occidentale la proportion n'est guère que de 3 %. C'est avec la plus grande satisfaction que l'on constate déjà un accroissement de ce pourcentage européen et celui-ci continuera à accroître au fur et à mesure que les gazoducs seront installés, tout d'abord aux Pays-Bas et dans les pays environnants, mais éventuellement aussi dans tous les pays de la région et également au fond du bassin de la mer du Nord.

Selon les prévisions des ingénieurs, les gisements du bassin de la mer du Nord sont plutôt de gaz naturel et non de pétrole brut. Il convient donc d'étudier l'emploi du gaz pour fournir l'industrie en énergie et c'est dans ce domaine que les perspectives sont bonnes, car ce gaz naturel n'a normalement pas de teneur en soufre; il est propre à la combustion et non toxique. Par contre, avant son introduction pour l'usage général, il est nécessaire de modifier l'équipement et les instal-

lations ménagères, tels les becs à gaz. Toutes ces modifications sont généralement aux frais de l'industrie du gaz.

En ce qui concerne la Grande-Bretagne, les importations de gaz naturel liquéfié par bateau-citerne en provenance d'Algérie (gisement d'Hassi R'Mel) représentent un grand avantage, car l'industrie britannique a déjà acquis une certaine expérience en mélangeant le méthane importé d'Afrique avec le gaz normal pour avoir un carburant beaucoup plus efficace. Ce même procédé sera suivi lorsque le gaz obtenu du bassin de la mer du Nord sera canalisé pour alimenter le réseau méthanier national à partir d'un lieu situé près de la ville de Hull (Yorkshire).

De même que le pétrole, le gaz naturel est de composition différente selon son lieu d'origine. Le gaz de Lacq, par exemple, a une teneur d'hydrogène sulfuré de 15.2 % et cet élément corrosif doit être éliminé avant que le gaz ne soit distribué. Incidemment, il faut signaler que grâce aux gisements de Lacq., la France est devenue une des plus grandes sources de soufre. Le gaz trouvé à Hassi R'Mel contient 6 % d'azote et d'acide carbonique, celui de Groningue 14 % de ces mêmes gaz, contre 94 % et 86 % de méthane respectivement. La haute teneur en méthane du gaz algérien (Hassi R'Mel) est la raison pour laquelle il a une valeur calorifique supérieure à celle du gaz de Groningue.

Nous avons souvent mentionné l'importance du gisement de gaz naturel à Eskdale (Whitby) et, par conséquent, la récente découverte de gaz dans une région près de Scarborough (à 30 km de Whitby) ne devrait pas nous surprendre. Le débit de ce nouveau gisement est néanmoins très surprenant, car les ingénieurs parlent ouvertement de réserves de méthane suffisantes pour le vaste complexe industriel de Middlesbrough à 60 km au Nord de Scarborough. Ici l'installation des conduites entre Scarborough et Middlesbrough ne pose pas de problèmes et les frais seront beaucoup moins élevés que pour la canalisation nécessaire à la production pour un puits foré dans le bassin de la mer voisine.

Parmi les compagnies pétrolières qui participent à l'exploration et à l'exploitation en mer du Nord se trouve le consortium « Gas Council/ Amoco Group ». Or le Gas Council est une agence gouvernementale rattachée au *Ministry of Power*, qui, seul, achètera le gaz naturel provenant de la mer du Nord. Ce même consortium ayant déjà découvert deux importants gisements de gaz en mer du Nord, il en résulte que le Gas Council est à la fois producteur et acheteur.

Le principal problème qui est discuté actuellement est celui des conditions dans lesquelles les compagnies vendront leur gaz au Gas Council. Le contrat qui servira de modèle pour tous les autres sera celui existant entre le Council et la Société Shell/Esso, qui découvrit au printemps 1966 un gisement important de gaz au-dessous du Leeman Bank dans le Bloc 49/6 (fig. 9).

Les deux parties ont entamé des négociations depuis plusieurs mois et la plupart des questions techniques sont déjà réglées. Mais la

question cruciale du prix demeure, et en dernier ressort, la responsabilité finale reste au Gouvernement. Les intérêts divergents des deux parties devraient se concilier pour les meilleurs intérêts de la Nation.

Malgré le rapide progrès qui a été achevé depuis le début de l'année 1966, personne ne connaît définitivement quelle quantité de gaz sera disponible. La plupart des experts pensent que considérant toute la superficie de la région qui s'est révélée pétrolifère, on devrait trouver au moins une quantité aussi importante que celle que les Hollandais ont trouvé dans leur vaste champ de Slochteren qui se classe au 2e rang des découvertes mondiales, le plus grand gisement se trouvant au Texas. Mais la production du Slochteren est l'équivalent de 1100 millions de tonnes de charbon et d'ici 1970, la consommation totale d'énergie en Grande-Bretagne s'élèvera probablement aux environs de 337 millions de tonnes d'équivalent-charbon par an. Ainsi il est nécessaire d'étudier les perspectives énergétiques en Grande-Bretagne avec beaucoup de prudence. Des quantités de gaz peu importantes auront peu d'influence, alors que des quantités importantes pourraient entraîner des conséquences.

Personne dans l'industrie du pétrole ne s'attend à recevoir un prix de 5 *pence per therm* (5d la thermie), prix qui a été payé à la Société BP en 1965 pour le gaz provenant de la Concession 48/6. La situation a beaucoup changé en cette matière. Mais naturellement on espère obtenir un prix qui permettrait de gagner une rémunération raisonnable des investissements.

En Grande-Bretagne le *Ministry of Power* doit aussi tenir compte des plaintes que formule l'industrie du gaz qui estime que le prix devrait être fixé à un niveau très bas de façon à ce que ce nouveau carburant puisse être largement employé. Le Ministère doit aussi considérer le fait que si les compagnies pétrolières font des bénéfices importants, cela signifiera le rapatriement de fortes sommes d'argent aux organisations mères des compagnies étrangères.

Les deux antagonistes ont des arguments très puissants. Malgré les succès obtenus jusqu'ici dans la recherche, il est évident qu'avant qu'elles aient terminé, les compagnies foreront beaucoup plus de puits secs une fois qu'elles commenceront à prospecter des régions moins prometteuses. Si le pays doit gagner le maximum des bénéfices en mer du Nord, il est important que chaque kilomètre carré soit examiné et l'on doit donner aux compagnies des encouragements adéquats. D'un autre côté il serait absurde de suspendre le développement de cette grande et nouvelle ressource nationale par suite de l'établissement d'un prix trop élevé qui ne lui permettrait pas d'être compétitif avec les autres carburants.

A cet étape, cependant, il semble certain que beaucoup de gens en dehors du marché de gaz existant bénéficieront de ces découvertes en mer du Nord. Des pourparlers continuent entre le *Gas Council* et le *Central Electricity Generating Board* qui devraient aboutir à une solution qui permettra la transformation d'un certain nombre de *generating*

stations appartenant au C.E.G.B. pour brûler du gaz naturel aussi bien que du pétrole ou du charbon. Des pourparlers semblables se poursuivent avec d'importants consommateurs industriels.

Le grand avantage de vendre à de gros consommateurs industriels est qu'ils seront capables d'acheter et d'utiliser le gaz presqu'aussitôt que les puits en mer du Nord seront reliés à la côte. Les consommateurs domestiques par contre devront transformer leurs appareils ménagers et il sera nécessaire de moderniser certains systèmes de canalisation. Néanmoins, il a été décidé que tout le pays serait transformé du gaz de charbon au gaz naturel et d'ici 1970 tous les *Gas Boards* seront approvisionnés en gaz naturel. Ainsi, en misant sur une longue période, l'optimisme qui règne dans l'industrie du gaz paraît bien fondé.

Les récentes découvertes de gaz naturel en mer du Nord ont confirmé tous les espoirs des optimistes qui pensaient que cette région contenait de vastes réserves. L'accroissement de la demande montre que le gaz est en train de devenir un carburant populaire dans le pays entier. Mais avant que les rêves de l'industrie du gaz qui voudrait étendre encore sa part du marché énergétique du pays puissent être achevés, on doit considérer les deux prochains hivers, et personne n'est tout à fait certain de ce qu'il arrivera. Une recrudescence des ennuis et des « pannes » des dernières années n'affecterait pas la position à long terme de l'industrie, mais entâcherait la réputation d'efficacité et de modernisme qui a été créée durant ces dernières années.

Les problèmes à court terme de l'industrie du gaz sont le résultat de son propre succès. Pendant les années 50 on a utilisé le charbon en tant que matière première et on n'a pas réussi à réaliser un taux d'expansion valable. Puis, au début des années 60, le développement de nouveaux procédés basés sur le pétrole et sur le gaz ont donné la possibilité d'abaisser de façon substantielle les coûts de production et de faire encore des progrès. Cependant, avant que cela put se réaliser, on dut installer de nouvelles usines et on décida d'établir ces dernières juste au moment où l'industrie chimique s'engageait aussi dans un programme de construction à grande échelle. Le résultat fut que les constructeurs n'ont pu livrer les usines en temps voulu, et cela, ajouté à une sous-estimation de la part du *Gas Board*, a été la cause d'ennuis.

Quoiqu'il arrive cet hiver, l'attention du public se portera sur l'industrie du gaz pendant les premiers mois de 1967, au moment où le gaz de la mer du Nord commencera à arriver au centre de réception situé à Easington, près de l'embouchure de l'Humber. De là, il sera envoyé par pipeline au réseau national du méthane, qui a été construit il y a quelques années pour transporter le gaz naturel saharien du terminus maritime de Canvey Island à Leeds, avec des ramifications aux divers Gas Boards. Ainsi, dans quelques semaines, le gaz de la mer du Nord atteindra les foyers domestiques.

Quand les opérations fonctionneront à Easington, cet évènement sera mémorable pour deux raisons. D'abord il marquera l'établissement d'une nouvelle industrie dans ce pays, et deuxièmement il établira un

record mondial de développement d'un champ « offshore » de pétrole ou de gaz naturel. Il n'y a guère 18 mois que la Société BP fit sa première découverte en mer du Nord et les travaux de développement auraient même été plus rapides s'il n'y avait pas eu, le lendemain de Noël 1965, le naufrage de la plateforme de forage *Sea Gem*.

C'est seulement en petites quantités que le gaz naturel atteindra le pays en 1967, mais la Société BP sera bientôt rejointe par la Compagnie Shell/Esso, qui aura son terminal à Bacton dans le Norfolk. Plus tard le groupe Gas Council Amoco et d'autres groupes termineront leurs travaux de canalisation afin d'assurer un débit maximum de cette région pétrolifère qu'est la mer du Nord. (Fig. 18 bis)

XI. — LES PERSPECTIVES

La carte (fig. 21) donnant les divisions du plateau continental de la mer du Nord établies sur la base de la ligne médiane, montre que seuls sept pays bordent cette mer quasi-intérieure. Mais ces mêmes pays détiennent quelques-uns des plus grands centres d'activité économique du monde. Leurs besoins en énergie augmentent constamment. Or, ce n'est qu'en 1959, à la suite de la découverte des gisements de Groningue, aux Pays-Bas, que le gaz naturel commença à contribuer d'une manière effective à cette demande d'énergie toujours croissante. Cette contribution ne représente actuellement que 2 à 3 % de la consommation totale de carburants en Europe occidentale, mais selon les prévisions des économistes ce chiffre augmentera à 6 % en 1970. Ces prévisions dépendent essentiellement de la nature des découvertes en mer du Nord. Jusqu'à l'heure actuelle celles-ci étant presque exclusivement de gaz naturel, on est incliné à penser que ce bassin ne comporte pas des gisements de gaz (exception faite de la récente découverte de pétrole - Concession 48/22).

En raison des importantes découvertes de gaz naturel dans le secteur britannique de la mer du Nord, tout d'abord à 65 km à l'est de Hull (par la compagnie BP) et récemment au large de la côte de Norfolk (par la compagnie Shell/Esso), les autorités britanniques ont déjà approuvé une extension du réseau gazier national *(gas grid)* (fig. 18) pour assurer la distribution de ce gaz naturel et son mélange avec le gaz de charbon. Grâce à ce mélange, la qualité du gaz ne peut que s'améliorer et il faudrait envisager dorénavant la conversion de l'équipement industriel et ménager de la même façon qu'aux Pays-Bas, où le programme de modernisation est déjà bien avancé. Si ce programme trouve l'assentiment du Gouvernement britannique, ceci ne signifie pas que ce dernier envisage pour le moment un grand ralentissement de l'industrie charbonnière; tout au contraire, les plus grands charbonnages sont toujours appelés à fournir des quantités importantes de ce combustible longtemps traditionnel en Grande-Bretagne. En même temps les centrales atomiques, dont le nombre s'est nettement accru ces dernières années, alimentent de plus en plus le réseau national d'électricité *(electricity grid)*.

Les perspectives aux Pays-Bas, pays que l'on peut considérer comme le berceau des grandioses projets pétroliers en Europe, sont extraordinaires. Nous constatons que le vaste gisement de gaz naturel à Slochteren — un nom devenu célèbre en Europe — a déjà donné naissance à un système de gazoducs reliant la province de Groningue à tous les pays voisins, à savoir l'Allemagne, la Belgique, le Luxembourg, la France et, tout récemment, la Suisse. Selon les dernières nouvelles la Suisse importerait dans un proche avenir du gaz naturel néerlandais qui arriverait à Bâle par les canalisations allemandes. Le chiffre de 2 milliards de m^3 a été avancé, 250 millions de m^3 devant représenter la première livraison.

En Grande-Bretagne on a beaucoup parlé d'un gazoduc sous-marin sur le fond de la mer du Nord pour fournir du gaz naturel néerlandais à l'Angleterre. Aujourd'hui on en parle beaucoup moins et nous pouvons en déduire que les importants gisements de gaz déjà découverts dans le secteur britannique du bassin sont jugés suffisants pour fournir en gaz le pays entier. En effet, la tâche la plus urgente de l'industrie pétrolière en Grande-Bretagne est de faire fabriquer les conduites en acier en quantité suffisante pour canaliser le gaz naturel et de le mettre à la disposition de tous les *Gas Boards* (Centres de distribution régionaux). Pour faire face à cette situation, une nouvelle fonderie serait bientôt construite aux environs de Middlesbrough, démontrant clairement combien le succès des forages en mer du Nord stimule le développement d'industries ancillaires. En même temps sur les rives du Humber, près de Grimsby, une autre raffinerie est en construction et selon les autorités dignes de foi une nouvelle ville satellite serait construite non loin du port d'Immingham. C'est l'Université de Leeds qui s'est occupée de la planification de cette ville satellite.

Ayant fait mention des perspectives par rapport au développement des industries ancillaires, il conviendrait d'étudier également d'autres répercussions de cette rapide expansion de l'industrie pétrolière en Europe. Tout d'abord, dans le domaine des inventions, nous constatons plusieurs choses d'un intérêt tout particulier qui semblent liées au grand essor réalisé depuis la guerre dans l'industrie aéronautique. D'une part, nous voyons chaque plate-forme de forage et chaque modèle de bouée laboratoire dorénavant doté d'un petit « champ d'atterrissage » à l'usage des hélicoptères — aéronef devenu indispensable aux opérations d'exploration et d'exploitation en mer. D'autre part, nous venons d'apprendre que l'inventeur du moteur à réaction, Sir Frank Whittle, a trouvé un moyen d'adapter son « jet » à la foreuse (trépan) utilisée couramment pour le forage pétrolier.

Que les deux inventions sus-mentionnées soient d'origine européenne ne devrait pas nous surprendre lorsque nous nous rendons compte de la rude épreuve à laquelle les hommes sont soumis pendant leur travail à bord des plate-formes en mer du Nord. Chacune de ces inventions facilitera et accélérera le forage en mer de telle façon que les opérations les plus dures puissent dorénavant être achevées pendant

les mois d'été. Ce sont des réalisations dont nous pouvons être très fiers.

En ce qui concerne les perspectives en général, il est intéressant de constater le grand essor de la production de gaz naturel aux Pays-Bas depuis 1960, au lendemain de la découverte des vastes gisements à Slochteren. Le *Statistical Handbook* a publié les statistiques :

1960	1961	1962	1963	1964	1965
330×10^6 m^3	449	499	569	835	1743

En 1963 la répartition régionale était la suivante :

Région occidentale 200×10^6 m^3
Région orientale 350×10^6 m^3
Slochteren 11×10^6 m^3

La production à Slochteren s'est accrue très rapidement à partir de 1963. Selon le Bulletin de la *American Association of Petroleum Geology* (Vol. 50, n° 8, 1966) la production de gaz par la Société N.A.M. en 1965 était :

Région orientale 12 112 MMcf
Région occidentale 4 951 MMcf
Région du Nord (principalement de Slochteron) 47 124 MMcf

D'après ce même bulletin les réserves de gaz prouvées dans la Province de Groningue sont de 1100×10^9 m^3.

Étant donné la discrétion traditionnelle des grandes sociétés pétrolières en ce qui concerne les réserves de pétrole et de gaz, nous pouvons considérer comme très modestes les chiffres publiés à ce sujet dans les journaux officiels. Il en est de même lorsqu'il s'agit de calculer le débit potentiel d'un puits ou d'un gisement pétrolier d'une région récemment livrée à l'exploitation. C'est une discrétion qui semble justifier l'optimisme.

APPENDICE

CONFÉRENCE DES NATIONS UNIES SUR LE DROIT DE LA MER (AVRIL 1958) CONVENTION SUR LE PLATEAU CONTINENTAL

Les États parties à la présente Convention sont convenus des dispositions suivantes :

Article Premier

Aux fins des présents articles, l'expression « plateau continental » est utilisée pour désigner : a) le lit de la mer et le sous-sol des régions sous-marines adjacentes aux côtes, mais situées en dehors de la mer territoriale, jusqu'à une profondeur de 200 mètres ou, au delà de cette limite, jusqu'au point où la profondeur des eaux surjacentes permet l'exploitation des ressources naturelles desdites régions; b) le lit de la mer et le sous-sol des régions sous-marines analogues qui sont adjacentes aux côtes des îles.

Article 2

1. L'État riverain exerce des droits souverains sur le plateau continental aux fins de l'exploration de celui-ci et de l'exploitation de ses ressources naturelles.

2. Les droits visés au paragraphe 1 du présent article sont exclusifs en ce sens que, si l'État riverain n'explore pas le plateau continental ou n'exploite pas ses ressources naturelles, nul ne peut entreprendre de telles activités ni revendiquer de droits sur le plateau continental sans le consentement exprès de l'État riverain.

3. Les droits de l'État riverain sur le plateau continental sont indépendants de l'occupation effective ou fictive aussi bien que de toute proclamation expresse.

4. Les ressources naturelles visées dans les présents articles comprennent les ressources minérales et autres ressources non-vivantes du lit de la mer et du sous-sol, ainsi que les organismes vivants qui appartiennent aux espèces sédentaires, c'est à dire les organismes qui, au stade où ils peuvent être pêchés, sont soit immobiles sur le lit de

la mer ou au-dessous de ce lit, soit incapables de se déplacer si ce n'est en restant constamment en contact physique avec le lit de la mer ou le sous-sol.

ARTICLE 3

Les droits de l'État riverain sur le plateau continental ne portent pas atteinte au régime des eaux surjacentes en tant que haute mer, ni à celui de l'espace aérien situé au-dessus de ces eaux.

ARTICLE 4

L'État riverain ne peut entraver la pose ou l'entretien de câbles ou de pipe-lines sous-marins sur le plateau continental, réserve faite de son droit de prendre des mesures raisonnables pour l'exploration du plateau continental et l'exploitation de ses ressources naturelles.

ARTICLE 5

1. L'exploration du plateau continental et l'exploitation de ses ressources naturelles ne doivent pas avoir pour effet de gêner d'une manière injustifiable la navigation, la pêche ou la conservation des ressources biologiques de la mer, ni de gêner les recherches océanographiques fondamentales ou les autres recherches scientifiques effectuées avec l'intention d'en publier les résultats.

2. Sous réserve des dispositions des paragraphes 1 et 6 du présent article, l'État riverain a le droit de construire et d'entretenir ou de faire fonctionner sur le plateau continental les installations et autres dispositifs nécessaires pour l'exploration de celui-ci et l'exploitation de ses ressources naturelles, et d'établir des zones de sécurité autour de ces installations ou dispositifs et de prendre dans ces zones les mesures nécessaires à leur protection.

3. Les zones de sécurité visées au paragraphe 2 du présent article peuvent s'étendre à une distance de 500 mètres autour des installations ou autres dispositifs qui ont été aménagés, mesurée à partir de chaque point de leur bord extérieur. Les navires de toutes nationalités sont tenus de respecter ces zones de sécurité.

4. Ces installations ou dispositifs, tout en étant soumis à la juridiction de l'État riverain, n'ont pas le statut d'îles. Ils n'ont pas de mer territoriale qui leur soit propre, et leur présence n'influe pas sur la délimitation de la mer territoriale de l'État riverain.

5. Avis doit être dûment donné de la construction de ces installations, et l'entretien des moyens permanents de signalisation nécessaires doit être assuré. Toutes les installations abandonnées ou ne servant plus doivent être complètement enlevées.

6. Ni les installations ou dispositifs, ni les zones de sécurité établies autour de ceux-ci ne doivent être situés dans les parages où ils peuvent

gêner l'utilisation des routes maritimes régulières indispensables à la navigation internationale.

7. L'État riverain est tenu de prendre dans les zones de sécurité toutes les mesures propres à protéger les ressources biologiques de la mer contre les agents nuisibles.

8. Le consentement de l'État riverain doit être obtenu pour toutes recherches touchant le plateau continental entreprises sur place. Toutefois, l'État riverain ne refusera normalement pas son consentement lorsque la demande sera présentée par une institution qualifiée, en vue de recherches de nature purement scientifique concernant les caractéristiques physiques ou biologiques du plateau continental, à condition que l'État riverain puisse, s'il le souhaite, participer à ces recherches ou s'y faire représenter, et qu'en tout cas les résultats en soient publiés.

Article 6

1. Dans le cas où un même plateau continental est adjacent aux territoires de deux ou plusieurs États dont les côtes se font face, la délimitation du plateau continental entre ces États est déterminée par accord entre ces États.

A défaut d'accord, et à moins que des circonstances spéciales ne justifient une autre délimitation, celle-ci est constituée par la ligne médiane dont tous les points sont équidistants des points les plus proches des lignes de base à partir desquelles est mesurée la largeur de la mer territoriale de chacun de ces États.

2. Dans le cas où un même plateau continental est adjacent aux territoires de deux États limitrophes, la délimitation du plateau continental est déterminée par accord entre ces États. A défaut d'accord, et à moins que des circonstances spéciales ne justifient une autre délimitation, celle-ci s'opère par application du principe de l'équidistance des points les plus proches des lignes de base à partir desquelles est mesurée la largeur de la mer territoriale de chacun de ces États.

3. Lors de la délimitation du plateau continental, toute ligne de démarcation établie conformément aux principes mentionnés dans les paragraphes 1 et 2 du présent article devrait être définie par référence aux cartes et aux caractéristiques géographiques existant à une date donnée, et il devrait être fait mention de points de repère fixes et permanents à terre.

Article 7

Les dispositions des présents articles n'affectent en rien le droit de l'État riverain d'exploiter le sous-sol en recourant au percement de tunnels, quelle que soit la hauteur des eaux au-dessus du sous-sol.

ARTICLE 8

La présente Convention sera, jusqu'au 31 octobre 1958, ouverte à la signature de tous les États Membres de l'Organisation des Nations Unies ou d'une institution spécialisée, ainsi que de tout autre État invité par l'Assemblée générale des Nations Unies à devenir partie à la Convention.

ARTICLE 9

La présente Convention sera ratifiée. Les instruments de ratification seront déposés auprès du Secrétaire général de l'Organisation des Nations Unies.

ARTICLE 10

La présente Convention sera ouverte à l'adhésion de tout État appartenant à l'une des catégories mentionnées à l'article 8. Les instruments d'adhésion seront déposés auprès du Secrétaire général de l'Organisation des Nations Unies.

ARTICLE 11

1. La présente Convention entrera en vigueur le trentième jour qui suivra la date du dépôt auprès du Secrétaire général de l'Organisation des Nations Unies du vingt-deuxième instrument de ratification ou d'adhésion.

2. Pour chacun des États qui ratifieront la Convention ou y adhéreront après le dépôt du vingt-deuxième instrument de ratification ou d'adhésion, la Convention entrera en vigueur le trentième jour après le dépôt par cet État de son instrument de ratification ou d'adhésion.

ARTICLE 12

1. Au moment de la signature, de la ratification ou de l'adhésion, tout État pourra formuler des réserves aux articles de la Convention autres que les articles 1 à 3 inclus.

2. Tout État contractant ayant formulé des réserves conformément au paragraphe précédent pourra à tout moment les retirer par une communication à cet effet adressée au Secrétaire général de l'Organisation des Nations Unies.

ARTICLE 13

1. Après expiration d'une période de cinq ans à partir de la date à laquelle la présente Convention entrera en vigueur, une demande de revision de la présente Convention peut être formulée en tout temps,

par toute partie contractante, par voie de notification écrite adressée au Secrétaire général de l'Organisation des Nations Unies.

2. L'Assemblée générale des Nations Unies statue sur les mesures à prendre, le cas échéant, au sujet de cette demande.

ARTICLE 14

Le Secrétaire général de l'Organisation des Nations Unies notifie à tous les États Membres de l'Organisation des Nations Unies et aux autres États visés à l'article 8 :

a) Les signatures apposées à la présente Convention et le dépôt des instruments de ratification ou d'adhésion, conformément aux articles 8, 9 et 10;

b) La date à laquelle la présente Convention entrera en vigueur, conformément à l'article 11;

c) Les demandes de révision présentées conformément à l'article 13;

d) Les réserves à cette Convention présentées conformément à l'article 12.

ARTICLE 15

L'original de la présente Convention, dont les textes anglais, chinois, espagnol, français et russe font également foi, sera déposé auprès du Secrétaire général de l'Organisation des Nations Unies, qui en fera tenir copie certifiée conforme à tous les États visés à l'article 8.

EN FOI DE QUOI les plénipotentiaires sous-signés, dûment autorisés par leurs gouvernements respectifs, ont signé la présente Convention.

FAIT à Genève, le vingt-neuf avril mil neuf cent cinquante-huit.

LISTE DES RÉFÉRENCES

1. Blackett, P.M.S. *The Theory of Continental Drift.* Geog. Journal, Vol. 132, Sept. 1966.
2. Brouwer, L.E.J. *The North Sea.* The World Land Use Survey, Occasional Papers N° 5, 1964.
3. Cooper, B. & Gaskell, T.F. *North Sea Oil - The Great Gamble.* Heinemann, London, 1966.
4. Dean, J.R. *Down to the Sea* - A Century of Oceanography. Brown, Son & Ferguson, Glasgow, 1966.
5. De Martonne, E. *Abrégé de Géographie Physique.* Librairie Armand Colin, Paris.
6. Defant, A. *Physique Oceanographie.* Universität von Innsbrück.
7. Dietrich, G. *Ergebnisse synoptischer Ozeanographischer Arbeiten in Nordsee,* Hamburg, 1955.
8. Donovan, D.T. & Dingle, R.V. *Geology of Part of the Southern North Sea.* Nature, Vol. 207, 1965.
9. Dunham, K.L. *Syngenetic and Diagenetic Mineralization in Yorkshire,* 1966.
10. Falcon, N.L. & Kent, P.E. *Geological Results of Petroleum Exploration in Britain,* 1945-57.
11. Guilcher, A. *Précis d'Hydrologie marine et continental.* Paris 1965.
12. Guilcher, A. *Morphologie littorale et sous-marine.* Presses Universitaires de France, 1954.
13. Guilcher, & Beaujeu-Garnier. *Europe du N. et du N-O.* Presses Universitaires de France.
14. Haanstra, U. *A Review of Mesozoic Geological History in the Netherlands.* Kon. Ned. Geol. Vol. 21-1. 1963.
15. Hardy, A. *Fish and Fisheries.* Collins, London, 1959.
16. Hardy, A. *The World of Plankton.* Collins, London.
17. Holtedahl, O. *The Submarine Relief off the Norwegian Coast.* Univ. Bergen Arb. Rekke 14.

18. KENDALL, P.F. Chapter in « *Man and the Glacial Period* » by G.F. Wright, 1892.

19. KENT, P.E. *Structure of Carboniferous Rocks in N.E. England.* 1966.

20. KUENEN, Ph. H. *Marine Geology.* Wiley, New York, 1950.

21. LAKE, P. *Physical Geography.* Cambridge University Press.

22. PANNEKOEK, P. *Geology of the Netherlands.* Geologisch Instituut, Leiden.

23. PICCARD, A. *Au fond des Mers en Bathyscaphe.* Arthaud, 1954.

24. PICCARD, J. *Profondeur* 11.000 mètres. Arthaud, 1961.

25. PREVOT, V. *Géographie du Monde Contemporain.* Librairie Belin. 1963.

26. ROBINSON, A.H.W. *The Storm Surge of January/February* 1953 *in the North Sea.* « Geography » 38.

27. ROUCH, J. *Traité d'Océanographie physique.* Payot, Paris.

28. SHAWCROSS, Lord. *The Law of the Continental Shelf.* World Land-Use Survey, Occasional Papers N° 5, 1964.

29. STRIDE, A.H. *The Origen of the Dogger Bank*, Geol. Mag. 96. 1959.

30. STRIDE, A.H. *Current-swept sea floors near the S. half of Gt. Britain.* Q.J. Geol. Soc. 1963.

31. THIADENS, A. *The Palaezoic in the Netherlands.* Verband. Ned. Geol. Mijnbouwk, 1963.

32. VALENTIN, H. *Beitrag zum Problem der letzten Vereisung im Nordsee raum.* Univ. Berlin, 1957.

33. VEENSTRA, H.J. *Geology of the Dogger Bank Area, North Sea.* Marine Geology, 3, 1965.

LISTE DES PÉRIODIQUES

Bulletin of the American Association for Petroleum Geology.
Bulletin du Musée océanographique, Monaco.
Bulletin hydrographique international, Monaco.
Cahiers océanographiques, Paris.
Chroniques océanographiques, Paris.
Deep-Sea Research, Wood's Hole & Wormley.
Financial Times Survey " The North Sea ", London.
Geographical Journal, London.
Geographical Review, New York.
Interavia, Genève.
Guardian, Manchester.
Marine Geology, Amsterdam.
Nature, London.
Nautical Magazine, Glasgow.
Offshore, Conroe, Texas.
Revue hydrographique internationale, Monaco.
Scotsman, Edinburgh.
Statistical Handbook.
Stuttgarter Zeitung.
Timea, London.

Thèse remise à l'Institut de Géographie,
Université de Paris.
le 31 Janvier 1967

Signé : J. Rennard Dean.

Vu le 14 Février 1967

Le Doyen de la Faculté des Lettres
et Sciences Humaines
de l'Université de Paris (Sorbonne)

Marcel Durry

Vu et permis d'imprimer

Le Recteur d'Académie
Adjoint au Recteur de l'Académie de Paris

Chalin

TABLE DES FIGURES

Figures		*Pages*
1	— Profil bathymétrique de la mer du Nord	12
2	— Courants moyens de surface dans la mer du Nord	13
3	— Carte montrant le régime des marées en mer du Nord et les deux points d'amphidromie	14
4	— Coupe transversale montrant la géologie de deux côtés de la mer du Nord	18
5	— Carte géologique (période permienne) du bassin de la mer du Nord	19
6	— Coupe transversale montrant la structure géologique du bassin de la mer du Nord	26
7	— La colonne stratigraphique du bassin de la mer du Nord	28
8	— Coupe transversale Assen - Slochteren - Delfzyl	30
9	— Les concessions au large de la côte du Yorkshire et du Lincolnshire	31
10	— Carte géologique de la partie sud-ouest de la mer du Nord	36
11	— Plateforme auto-élévatrice (vue d'ensemble)	38
12	— Une plateforme auto-élévatrice ravitaillée par bateau et par hélicoptère	40
13	— Une plateforme de forage semi-submersible	41
14	— Répartition des Concessions dans le Secteur britannique de la mer du Nord	43
15	— La variation de la température en altitude et en profondeur	49
16	— Réseau de Navires météorologiques dans l'Atlantique Nord	51
17	— Réseau des stations d'observation météorologique entourant le bassin de la mer du Nord	52
18	— Le réseau national de gazoducs en Grande-Bretagne (Méthane Pipeline)	56
18 *bis*	— Le futur réseau	57
19	— Le réseau national de gazoducs aux Pays-Bas (Slochteren gaz)	59
20	— Réseau de stations pour la Radio-navigation en mer du Nord	60
21	— La délimitation du plateau continental par lignes médianes	64
22	— Stockage de gaz dans un anticlinal (aquifère)	70

ACHEVÉ D'IMPRIMER SUR LES
PRESSES DE LA SOCIÉTÉ NOUVELLE
DE L'IMPRIMERIE NATIONALE DE
MONACO DÉCEMBRE 1968